

Title	田植機の機構学的研究(Dissertation_全文)
Author(s)	並河, 清
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	1976-03-23
URL	http://dx.doi.org/10.14989/doctor.r3036
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	author



田植機の機構学的研究

並 河 清

1975

田植機の機構学的研究

並 河 清

1975

目 次

緒 言	1
第 1 章 田植機およびその研究の発展	3
1 日本における田植機の発展	3
2 田植機の研究経過	4
引用文献	6
第 2 章 水田のおうとつと田植機の上下変動	9
1 はじめに	9
2 解 析 法	10
3 田面のおうとつ	10
4 田植機の上下変動	14
5 本章のまとめ	19
引用文献	19
第 3 章 苗のヤング率	21
1 はじめに	21
2 実験方法	21
3 実験結果と考察	25
4 本章のまとめ	28
引用文献	29
第 4 章 田植機用苗の障害と初期生育	30
1 はじめに	30
2 ピンセットの材質と加圧力の影響	30
3 土付き苗の分離法と植付角度	34

4	本章のまとめ	37
	引用文献	37
第5章	リンク型植付け機構の解析	38
1	はじめに	38
2	つめ先端の運動解析	38
3	計算結果と考察	43
4	本章のまとめ	49
	引用文献	50
第6章	リンク型植付け機構の総合	51
1	はじめに	51
2	モンテカルロ法による植付け機構の総合	51
3	節長の修正法	55
4	植付け実験	56
5	数値計算例	59
6	本章のまとめ	62
	引用文献	63
第7章	回転型植付けづめの形状	64
1	はじめに	64
2	植付けづめの形状曲線創成	64
3	在来づめの解析	72
4	本章のまとめ	74
	引用文献	75
第8章	連続欠株検出警報装置	76
1	はじめに	76
2	論理回路と警報装置	76
3	苗の検出法	78
4	模擬実験による連続欠株検出警報装置の動作確認	87

5	本章のまとめ	88
	引用文献	89
第9章	総 括	90
付録	機構総合のプログラム	92

結 言

農作業の機械化は農業の生産性を向上させる事の他に、人間労働の解放も目的としている。ここに人間労働の解放は過酷な肉体労働のみならず知覚ならびに判断などの精神的意味の大きい労働をも含むものである。わが国の主要農作物である水稻の場合、定置作業からその機械化が進み、労働の季節的集中と労働の質的な面で問題を持つ田植作業の機械化が技術的な理由もあって遅れ、これの進展が特に望まれて来ていたが、この数年ようやく田植作業の機械化が本格的になって来ている。田植作業とくに植付け作業はその内容を大きく分けても、苗を苗床から分離させること、苗を本田まで移動させること、苗を一定量に分けること、分けた苗を所定の位置まで移動させること、所定の位置に定置することの要素からなる。また取り扱う材料が生体であって、しかも生育の初期段階のものである点が特徴的である。慣行栽培体系に直接機械を導入しようとして古くから数多くの試みが発表されて来たが個々の動作のみを手から機械へ置き換えることに中心が置かれたように見受けられ、単なる要素開発の水準が続いた。しかし新しい育苗法が取り入れられ、機械化の可能性の強い栽培法が取り入れられることによってようやく現在の普及をみたものである。しかし現在の農業機械の水準に基づいて線形計画法により作成した水稻機械化栽培体系のモデルによれば、機械化の障害となるのは田植機であり、より高性能な田植機の開発が必要であることを示唆している。本論文はこの現状からより高性能な田植機の改良開発を目的として、機構学的見地から植付け機構の総合を中心に考究し、また田植機械の高性能化のために関連した事項の研究を行なった結果を内容としている。すなわち、まず田植機の導入基盤である水田のおうとつの性質とそれが田植機にいかに関与しているかを実験的に調査した。つぎに苗の物理的性質とその調査法について明らかにし、さらに移植条件と初期生育の関係を明らかにすることによって田植機の植付け機構設計に必要な条件を知ろうとした。続いてリンク機構よりなる田植機の解析を行ない、この解析結果と実験的に求めた植付け条件とから、リンク式田植機植付け機構をモンテカルロ法によって総合する方法を提起し、具体的に総合を行なった。また帯状の土付き苗を植付ける機構としての回転型植付けつめの形状を植付けに必要な条件から総合し、インボリュート曲線がその一つの曲線であることを明らかにし、現在のこの種のつめの形状からもこの総合法が正しいことを明らかにした。最後に高性能化すなわち多条化・高速化の場合に備え、収量に影響のある連続欠株を検出し警報する装置を考案試作した結果について論述した。

本論文をまとめるにあたり，本研究について終始懇篤なるご指導を賜った京都大学農学部教授川村 登博士に深厚なる謝意を表する。

第1章 田植機およびその研究の発展

1. 日本における田植機の発展

田植作業を機械で行なうための考案は古くからあり、特許関係資料によっても1898年（明治31年）に始まり、その後とだえることなく次々と考案されている。ここに単なる着想や試作にとどまらずある程度農家段階まで到達したものについてその発展過程を記す。

1960年に西内光氏によって植苗紙移植法として考案されたものがある。これは糸をからませた波形の紙（植苗紙）に苗を作り、草丈が数cmに達したときに糸を伸ばすことによって苗を本田に放置する方法で、このための田植機も考案されたが、1967年に植苗紙の製造が中止され普及するに至らなかった。

1962年に農研工業株式会社から人力1条用土付き稚苗を使用する機械が発表された。その後これは動力2条用に発展し、初期の段階のものをも含めて約4万台の普及を見た。初期のものはポリエチレンシートで仕切られた長さ28cmの土付き带状苗を切断して植え付けて行くもので、1日30～50aの能率であった。なおこの切断して植え付けて行く形式のつめの形状については第7章に記載する。

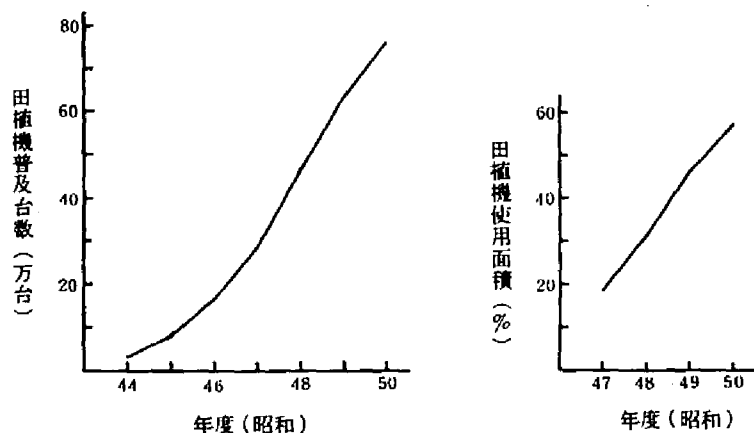
1965年に苗播機の名称でひも状に連続した苗を切断し自然落下させるティラー付属機としての田植機がダイキン工業株式会社から発表された。前述の農研工業が発表した田植機では帯苗を用いたが、本機では動力で連続的に植え付けるために一本のひも状苗を用いている。この苗は特別の仕切を入れた育苗箱で育苗され、带状の苗が各一端で次の苗と連続し根がからみ合う事および補強材によってひも状をしている。しかし走行性と自然落下であることに問題があって、フロート型でしかも切断した苗を強制的に植え付けて行く形式に発展して行った。この場合のつめの運動については第5章で論ずる。その後このひも状苗を切断し左右に振り分けて植え付ける4条用田植機（井関農機）も発表され、1970年頃までは带状あるいはひも状の稚苗を植え付ける形式のものが中心であった。帯苗あるいはひも苗を植え付ける形式のものは、育苗箱に仕切を入れるなど苗の準備に多大の時間を要するために1969年にティラーの付属機としてマット状の苗から一株ずつ取り出して植え付ける田植機（佐藤造機）が発表され、1970年にはマット状の苗を用いるフロート型の田植機が久保田鉄工株式会社から発表されるに至った。その後の田植機の原形とでも言うべきものである。当初は2.5葉程度の稚苗を対象としていたが、田植時期の問題、冠水に対する考慮などから、より大きい土付き苗を植え付けたいとの要

望も強く、4.5葉苗の育苗と植付けもできるようになった。水田の中を人が歩行するため前進速度は0.6m/sec程度で能率は2条用の機械で10a当り1時間余りから1.5時間位である。田植機の形状がほぼ固まって来ると共に共同育苗が進んで来ている。

このほか育苗時から一株ずつの苗を形成させたポット形式の苗を植え付ける田植機も発表された。これにはプラスチック枠で形成された苗株を植え付けるものとペーパーポット苗を植え付けるものとの2形式がある。

1965年に根洗い苗を用うるものとしてティラー付属機がマメトラ農機株式会社から発表され、これを契機に機械としての田植機が大きく注目されるようになった。また同年人力型の根洗い苗用田植機もスター農機株式会社から発表され、その後根洗い苗用フロート型田植機も現れている。根洗い苗用田植機はその能率が植付け作業のみでは土付き苗用の田植機に較べて見劣りするものではなかったが、苗取りを丁寧にしなけなければならないため多大の苗取り時間を必要とする。苗の育苗から一貫して機械作業のできる土付き^苗用田植機が作業性能もよく、収量も低下しないことが明らかになったため、苗取りに労働力を多く必要とする根洗い苗用田植機は普及しなかった。

田植機の普及状態は第1-1図の通りである。ここで昭和48年度までは農林省、それ以後は全農の資料による。田植機によって植え付けられた面積も水田の全面積の60%近くに及び、また極めて普及の早い機械であることが分る。



第1-1図 田植機の普及状態

2. 田植機の研究経過

田植機の研究に関して、機械開発のため企業などは数多くの成果を得ていると思われるが公開されていない。ここに学会などを通じて公表されたものなどからその経過をたどりたい。研

究の方向としては大きく次のように分けられる。(1)実用化試験、(2)材料である苗の性質に関する研究、(3)走行部に関する研究、(4)植付け機構に関する研究および(5)自動化に関する研究である。

田植機を使用した場合の良否は、収穫機などと異なり数箇月後の収量が低下しないことが一つの基準になるため、まず最初の研究としては実用化のための研究が行なわれた。横山¹⁻¹⁾や田原¹⁻²⁾らの研究は田植機のあるべき姿を追って行なわれたものであろう。その後農研工業などから田植機が発表されてからは、各種の田植機を用い各地の農業試験場などを中心に利用上の問題点のは握とその解決法、性能の調査および比較試験などが数多く行なわれた。^{1-3,4,5)} また農家においてどのように田植機が使用され、どのような意向を持つかについての実態調査^{1-6,7)}が行なわれた。

対象物である苗がどのような物理的性質を持つものであるかを明らかにしようとした研究がある。これについては田原らによる土付き稚苗と土付き根部の物理的性質に関する研究^{1-8,9,10)}と育苗資材に関する研究¹⁻¹¹⁾があり、また根洗い苗を用いる田植機では苗をはさんで取り出す操作があるため成苗の物理的性質を知ろうとした三浦ら、¹⁻¹²⁾ 農事試験場^{1-13,14)} および並河¹⁻¹⁵⁾による研究がある。

走行部に関する研究は田植機の上下変動が植付けのむらを生ずるとの考え方から、並河¹⁻¹⁶⁾によって田面と耕盤がどのような性質を持ち、これがどのように田植機に影響するかを明らかにしようとした研究が行なわれた。また市川らによってフロート型田植機走行部について、フロート材の摩耗、¹⁻¹⁷⁾ 駆動トルクとフロートの接地圧¹⁻¹⁸⁾ およびフロートと車輪の運動についての研究^{1-19,20)} がなされた。このほか走行性に関する研究^{1-21,22)} や条のみだれについての研究¹⁻²³⁾ がある。

植付け機構については川村ら¹⁻²⁴⁾によって根洗い苗用田植機の植付け機構の解析がなされ、並河によって4節機構からなる植付け機構の解析¹⁻²⁵⁾と総合法の提起¹⁻²⁶⁾がなされた。このほか伊佐らによって植付けづめに作用する力が測定されている。¹⁻²⁷⁾ つぎに回転型植付けづめの形状について、並河は形状曲線の創成と在来づめの解析を行なっている。¹⁻²⁸⁾

稲作の機械化作業体系を合理的に完成するためには高能率の田植機が必要であることを川村ら¹⁻²⁹⁾は線形計画法による研究で明らかにしているが、多条化、乗用化の研究が北海道農試、¹⁻³⁰⁾ 農事試験場¹⁻³¹⁾ および農業機械化研究所で行なわれている。また高性能化のためには自動化が必要であるとして、収量に影響を与える連続欠株を検出する装置が堀尾¹⁻³²⁾と川村ら¹⁻³³⁾によって行なわれている。

稚苗を移植することは従来の稲作栽培技術とは異なり、木根淵¹⁻³⁴⁾を初めとして作物の研究

者によって多くの研究がなされている。

外国における田植機の研究としてイタリアにおける田植機とその比較性能試験^{1-35,36)}と台湾¹⁻³⁷⁾および中国¹⁻³⁸⁾における研究が紹介されている。

引用文献

- 1-1) 横山偉和夫；苗植機の使用が稲の生育，収量に及ぼす影響について，農業機械学会第15回総会講演要旨，1956
- 1-2) 田原虎次，他；田植機の実用化に関する研究，新農林社，1958
- 1-3) 農事試験場作業技術部；昭和38年度水田作の機械化に関する試験成績，1964，昭和40～48年度水田作の機械化に関する試験成績，1966～1974
- 1-4) 北海道大学農学部農業機械教室，他；昭和43年度田植機の性能に関する試験成績，1968，昭和44年度田植機の性能に関する試験成績，1969
- 1-5) 並河 清，川村 登，他；田植機用苗の障害と初期生育，農業機械学会関西支部報，No.27. p.45. 1970
- 1-6) 日本農業機械化協会；田植機利用農家の実態，1968
- 1-7) 堀江益雄，並河 清，川村 登；田植機の利用実態，農業技術，vol.24. p.262. 1969
- 1-8) 田原虎次，他；水稻苗の引張りせん断曲げ抵抗について，農業機械学会誌，vol.31. p.336. 1970
- 1-9) 須藤 允，他；帯苗の引張り曲げせん断強さについて，農業機械学会誌，vol.30. p.83. 1968
- 1-10) 田原虎次，他；苗帯の動摩擦係数について，農業機械学会誌，vol.30. p.201. 1969
- 1-11) 田原虎次，他；田植機用育苗資材の開発研究（その1），農業機械学会誌，vol.32. p.242. 1970，同（第2報），同誌，vol.33. p.210. 1971
- 1-12) 三浦 保，他；稲苗の物理的性状に関する研究，農業機械学会誌，vol.29. p.50. 1967
- 1-13) 農事試験場作業技術部；昭和42年度水田作の機械化に関する試験成績，p.69. 1968
- 1-14) 農事試験場作業技術部；昭和44年度水田作の機械化に関する試験成績，p.6. 1970
- 1-15) 並河 清；イネ苗のヤング率について，農業機械学会誌，vol.32. p.193. 1970
- 1-16) 並河 清；水田のおうとつと田植機の上下変動，農業機械学会誌，vol.32. p.186. 1970
- 1-17) 森 邦男，他；田植機フロート材の磨耗について，農業機械学会関西支部報，No.34. p.49. 1973

- 1-18) 市川真祐, 他: 田植機の走行性について (第1報), 農業機械学会誌, vol.34, p.220. 1972
- 1-19) 市川真祐, 他: 田植機の走行性について (第3報), 農業機械学会第33回総会講演要旨, p.38. 1974
- 1-20) 市川真祐, 他: 田植機の走行性について (第4報), 農業機械学会第34回総会講演要旨, p.55. 1975
- 1-21) 農事試験場作業技術部: 昭和44年度水田作の機械化に関する試験成績, p.27. 1970
- 1-22) 農事試験場作業技術部: 昭和48年度水田作の機械化に関する試験成績, p.1. 1974
- 1-23) 岡村俊民, 他: 田植機の直進精度の判定法について, 農業機械学会誌, vol.32, p.266. 1970
- 1-24) 川村 登, 並河 清, 他: 田植機の機構学的解析, 農業機械学会関西支部報, No.24, p.33. 1968
- 1-25) 並河 清: リンク式植付け機構の解析, 農業機械学会誌, 投稿中
- 1-26) 並河 清: リンク式植付けづめの機構総合, 農業機械学会誌, 投稿中
- 1-27) 伊佐 務, 他: 田植機の苗切断抵抗について, 農業機械学会関西支部報, No.32, p.45. 1972
- 1-28) 並河 清: 回転式植付けづめの形状, 農業機械学会誌, vol.35, p.353. 1974
- 1-29) 川村 登, 他: 線形計画法による稲作機械化体系について, 農業機械学会関西支部報, No.27, p.26. 1970
- 1-30) 北海道農業試験場農業物理部: 昭和39年度試験成績, 1965
- 1-31) 農事試験場作業技術部: 昭和40, 42, 44, 45, 46年度水田作の機械化に関する試験成績, 1966, 1968, 1970, 1971, 1972
- 1-32) 堀尾尚志, 川村 登: 田植機欠株警報装置への純流体素子の適用について, 農業機械学会第30回総会講演要旨, p.83. 1971
- 1-33) 川村 登, 並河 清, 他: 田植機における連続欠株検出警報装置について, 農業機械学会関西支部報, No.34, p.51. 1973
- 1-34) 木根淵旨光: 東北農業試験場研究報告, No.38. 1969
- 1-35) PIACCO, R.: La Trapiantatrice STREA, ILRISO, Giugno, p.17. 1961 (抄録; 農業機械学会誌, vol.27, p.203. 1965)
- 1-36) PIACCO, R.: Conclusioni Tecniche Sulle Trapiantarici da riso, IL RISO, Gennaio, p.30. 1961 (抄録; 農業機械学会誌, vol.27, p.203. 1965)

1-37) 林 体強, 他; 水稻插秧机設計研究. 農業機械學報. vol. 1. 1957 (抄録; 農業機械学会誌. vol. 20. p. 20. 1958)

1-38) 大島健夫; 最近の中国の農機具事情. 農業機械学会誌. vol. 20. p. 45. 1957

第2章 水田のおうとつと田植機の上下変動²⁻¹⁾

1. はじめに

田植機走行部の発達過程を市場に現われた機械について概観すると、人力用は本体が田面を滑走し、植付け等に必要な動力を両側についた接地駆動輪で取る形式を用い、動力用は当初ティラーに水田車輪を用い、作業機を取付けた形式であったが、その後専用機が現われた。これはフロート型と称されて、重量の多くをフロートによって田面で支えているもので、現状において定着している。ティラー型では全体の重量が大となり、またその重量の多くを耕盤で支持しているが、田面のおうとつに比較して耕盤のおうとつが大きく、ピッチングなどによって田植機植付け部に上下変動をもたらす植付け精度を悪くしていることがフロート型に移行したひとつの理由であるとされている。しかし田植機操作の容易性、価格および作業体系も当然理由となっている。ここでわが国における農業機械の発達の歴史を代表的な場作業機械である耕うん機械や収穫機械を例にとってみれば、性能の向上と共に歩行型から乗用型へと移行している。田植機においても高性能化とともに専用乗用型への移行が期待される。

専用乗用型の機械は重量が大となるため、その重量を田面で支えることは不可能であり、耕盤で多くを分担しなければならない。その結果耕盤のおうとつに起因される上下変動が当然生ずるであろう。ここで耕うん整地方法の違いによって、田面および耕盤にどのようなおうとつが生じ、これがどのような性質であってまたどのように植付け精度に影響をおよぼすかについて明らかにすることは田植機の作業精度向上にとって重要である。しかし作業精度には機械そのものが内蔵する欠陥や苗に起因するものなどがあり、これらを含めて走行部に起因する因子のみを取り出すことが好ましいと思われるが、直接的にこのような手法で問題を取り扱う事には種々の困難が伴う。そのため田面と耕盤のおうとつの性質およびこれがどのように田植機の上下変動に影響しているかを明らかにしようとした。

研究の手法としては不規則振動の解析に広く用いられているパワースペクトル密度による手法を用いた。この方法は地面の不規則なおうとつが航空機や自動車などの走行にどのように影響するかを究明することにも用いられている。^{2-2,3)} 本章では入力として耕うん法の異なる水田の耕盤もしくは田面のおうとつを用い、この入力がティラー型田植機の車軸近傍の上下変動および整地板の上下変動に及ぼす影響について検討した。なお本研究の計算は京都大学大型計算機センターのFACOM 230-60/75で行なった。

2. 解析法^{2-4,5,6)}

解析するにあたって次の二つの仮定が成り立つものとする。すなわち一つは田面や耕盤のおうとつは不規則で定常確率過程の性質をもっているものとするものであり、他の一つは田植機の上下変動は全体的に線形振動系とみなせることである。田植機が水田を走行する際、水田のおうとつのランダムな入力 $X(t)$ が、周波数応答関数 $A(f)$ を持つ田植機の系に入って、 $Z(t)$ なる出力すなわち田植機の上下変動が得られたとする。このとき $Z(t)$ なる変動は入力 $X(t)$ に直接関連した変動 $Y(t)$ と、これとは独立な変動すなわち雑音 $N(t)$ とからなる。ここに $X(t)$ 、 $Z(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $N(t)$ を平均値 0 の定常確率過程としてそのパワースペクトル密度をおのおの $P_{xx}(f)$ 、 $P_{zz}(f)$ 、 $P_{yy}(f)$ 、 $P_{nn}(f)$ とし、またクロススペクトル密度を $P_{yx}(f)$ 、 $P_{zx}(f)$ とする。ここで雑音 $N(t)$ が入力 $X(t)$ と相関をもたなければ、 $P_{zx}(f) = P_{yx}(f)$ となり、線形の仮定のもとで、入力のパワースペクトル密度 $P_{xx}(f)$ と、入出力のクロススペクトル密度 $P_{yx}(f)$ とがわかれば

$$A(f) = \frac{P_{yx}(f)}{P_{xx}(f)} \quad (2-1)$$

として系の周波数応答関数の値が決められる。また $P_{xx}(f)$ と $P_{yy}(f)$ との間には

$$r^2(f) = |A(f)|^2 \frac{P_{xx}(f)}{P_{yy}(f)} \quad (2-2)$$

なる関係があり、この周波数 f におけるコヒレンシー $r^2(f)$ の大きさによって両者の間の信頼性を推測することができる。すなわち離散的データを用いた場合、データ数の 10 % のずれしで計算すればほぼ $r^2(f) \geq 1/2$ 、またずれし数が 20 % であれば $r^2(f) \geq 3/4$ が目安となる。

これらの数値計算にあたってスペクトルウィンドウとして次式で示す赤池の H_1 を用いた。

$$X_t = 0.2434 x_{t-1} + 0.5132 x_t + 0.2434 x_{t+1} \quad (2-3)$$

3. 田面のおうとつ

1) 実験方法

実験は京都大学農学部附属高槻農場で行なった。異なったおうとつのほ場で実験を行なうため第 2-1 表に示すように耕うん法の異なるほ場を設定した。すなわち耕うん法はブラウ耕のみ、ブラウ耕とロータリ碎土およびその 2 回繰返し の 3 種で、ブラウ耕のみの場合については耕起方向と直交して田植機を走行させる区も設定した。代かきは 1 回および 2 回である。プラ

第2-1表 実験ほ場の耕うん整地法

区	耕うん法	代かき
I	P*	1回
II	P-R-P-R	1回
III	P-R	1回
IV	P(耕起方向と直交)	1回
V	II区同じ	2回

* Pはプラウ耕, Rはロータリによる表層砕土を示す。

ウ耕には45PS級トラクタと2連プラウを、砕土は表層のみでトラクタ用ロータリを、また代かきと整地には後部に均平板を取り付けた耕うん機をそれぞれ用いて行なった。

路面や畑地のおうとつを時系列として求めるには、次のような方法がとられている。(i) 路面のプロファイルを一定間隔でレベルを用いて測量する。²⁻⁷⁾ (ii) 測定車輪をころがしておうとつを求める。(iii) すでに路面のおうとつに対する振動特性の判明している測定車を走行させる。²⁻³⁾ (IV) ビームを照射しその反射度から求める。²⁻⁸⁾ 水田においては耕盤と田面の二つの要素を持ち、水田において可能な方法としては(i)に準じた方法が当を得ていると考えられ、次のようにしておうとつを求めた。庄司らの研究²⁻⁹⁾によれば水田用土そりなどに対する設計基準として、その接地圧を $0.005 \sim 0.01 \text{ kg/cm}^2$ としている。そのため田面のおうとつとして沈下深測定用物指しを取り付けた直径3.2cm接地圧 0.005 kg/cm^2 の円板の沈下量を田植機走行予定コースに沿って一定間隔で水面を基準にしてmm単位で求めた。また実験ほ場の土壌硬度をコーンペネトロメータで測定した結果、貫入圧がほぼ 5 kg/cm^2 の値で耕盤の存在が認められた。そのため田面のおうとつを測定した位置で、貫入圧 5.0 kg/cm^2 に対するコーンペネトロメータの貫入深を同じく水面基準でmm単位で求め、この値をもって耕盤のおうとつとした。測定の間隔は必要な周波数範囲および田面おうとつ測定用円板の直径などを勘案して、4cmもしくは8cmとした。サンプリング間隔は10%以下の誤差であればその影響は小さい²⁻¹⁰⁾とされているため、この誤差の範囲内にあるように注意した。なお試験区の長さは約20mである。

2) 実験結果と考察

(a) 分散 耕盤と田面のおうとつ測定にあたって、耕盤では円錐を、田面では円錐よりも直径の大きい円板を用いているために、田面では耕盤に比べるとより平滑化された値を得ていると思われる。この点も考慮しなくてはならないが耕盤のおうとつの分散は第2-2表に示されたように田面のそれよりも大きい。プラウ耕の方向と直交して測定した区においては耕盤田面ともにその値が明らかに大きい。他は耕うん法や代かき回数の相違にもかかわらずほぼ等し

い。

(b) おうとつのパワスペクトル パワスペクトルは時間領域を元にした周波数領域で求めるのが普通であるが、田面のおうとつの場合は時間ではなく距離が元のデータとなる。このような場合直接このデータを元にして計算と考察を進める方法と、走行速度を与える事によって時間を元にしたデータとして取り扱う方法とがある。

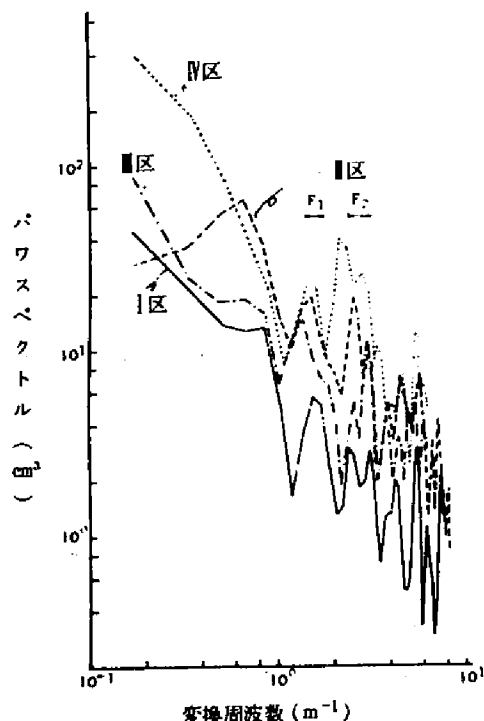
ここでは波長の逆数に相当する量として定義されている変換周波数²⁻¹¹⁾の領域で論議することにする。変換周波数とパワスペクトルの関係は第2-1図と第2-2図に示すように、田面耕盤共に両対数グラフの上で直線に近似できる。すなわちパワスペクトルを $\phi \text{ cm}^3$ 、変換周波数を $F \text{ m}^{-1}$ とし、 a および b を定数とすれば

$$\log \phi = a \log F + b \quad (2-4)$$

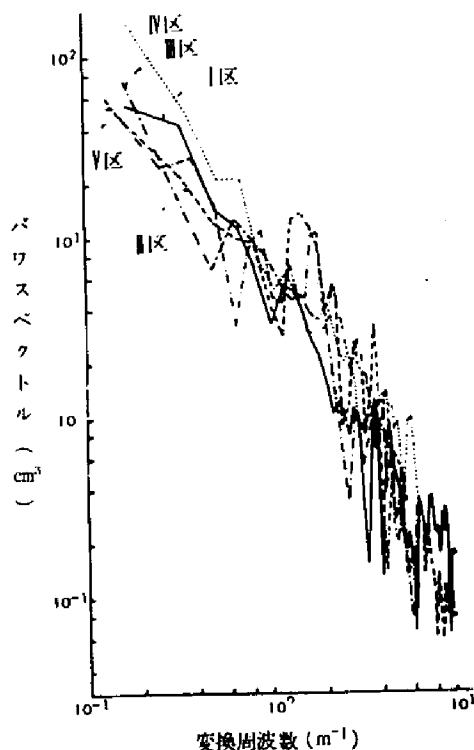
となり、 a および b の値を最小自乗法で求めた結果は第2-3表の通りである。田面と耕盤を比較すれば変換周波数の小さいところでは両者ほぼ等しいが、変換周波数の大きいところでは

第2-2表 水田におけるおうとつの分散

区	耕 盤 cm^2	田 面 cm^2
I	1.59	0.65
II	1.90	0.73
III	1.27	0.77
IV	4.81	1.39
V	—	0.82



第2-1図 耕盤のおうとつのパワスペクトル



第2-2図 田面のおうとつのパワスペクトル

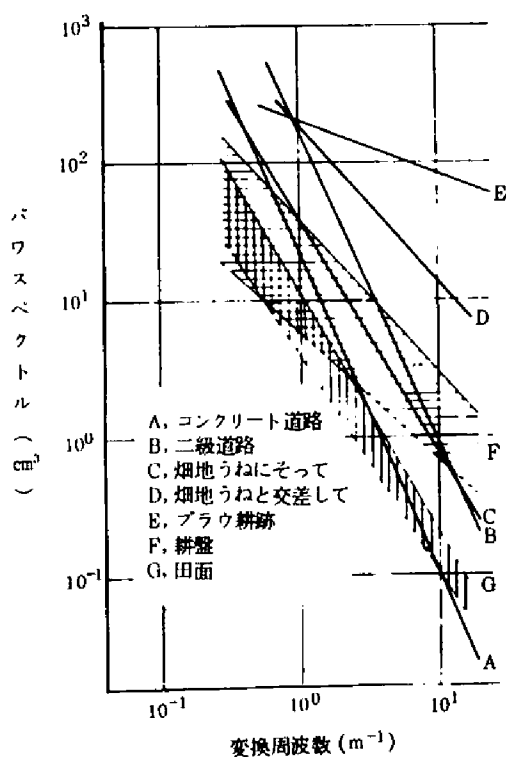
第2-3表 定数 a , b の値

区	種 別	a	b
I	耕 盤	-0.935	0.757
I	田 面	-1.47	0.662
II	耕 盤	-0.991	1.267
II	田 面	-1.79	0.808
III	耕 盤	-0.937	1.065
III	田 面	-1.71	0.718
IV	耕 盤	-1.12	1.58
IV	田 面	-1.53	0.945
V	田 面	-1.54	0.846

耕盤のパワースペクトルが大きい。代かきに変換周波数の大きいおうとつのみを平滑化していることを示している。耕うん法間の相違はⅣ区を除いて大きな差が認められない。第2-1図では各区において F_1 の変換周波数のところにピークが認められる。これはⅣ区にも認められ、この変換周波数の値がほぼ2連プラウの耕起巾の逆数と一致するため、かつてⅠ～Ⅲ区では測定方向と直交してプラウ耕がなされ、その際の耕盤が残っているものと考えられる。第2-2図においても同じ変換周波数のところでわずかにピークが認められるようであるが、第2-1図における F_1 のピークが1回の代かきでほぼ消されていることを示している。もし耕盤のおうとつが田植機の上下方向の運動に影響するものとするれば、耕起法については毎回充分の注意を必要とすることを示している。また第2-1図のⅣ区では F_2 の変換周波数でピークが認められるが、 F_2 の値はその逆数がプラウ単位の耕起巾に一致している。

(c) 畑地のおうとつとの比較 Wendenborn²⁻⁷⁾

はコンクリート道路、2級道路、プラウで耕起した畑地、うね作物畑のうね方向およびその直交方向のおうとつを求めている。それらの値と本実験の結果との比較を第2-3図に示す。これによれば変換周波数の小さい所、言い換えれば波



第2-3図 各種地表面のパワースペクトル

長の長い所で水田のおうとつが小さい。これはたん水を必要とする水田と畑地との根本的な相違に基づくものである。変換周波数の大きい所では耕盤と畑地のおうとつがほぼ等しく、田面ははるかにおうとつが少ない。一般的に比較すれば田面のおうとつはコンクリート道路のおうとつに、耕盤のおうとつは畑地のうねに沿った方向のおうとつに匹敵している。

4. 田植機の上下変動

1) 実験方法

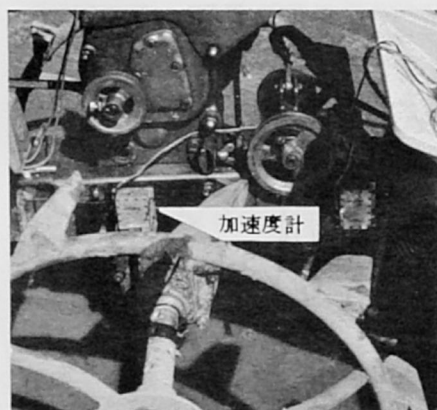
田植機を各区で走行させてその上下変動を求めた。使用した田植機はティラー型2輪ハンドトラクタ付属機2機種である。一つは作業機部の取付け方法から見てティラー型作業機の標準ともみなせる形式のもので、全体の重量を水田車輪およびそりで支え、整地板は作業機の一部として取り付けられ、ティラー本体の揺れや傾きに関係なく、田面を滑動する機構になっており、整地板の接地圧はスプリングの張りによって適度に調整できる構造である(第2-4図)。またティラーの車輪は740mmφのパイプ車輪に12個のラグが取り付けられ



第2-4図 実験状況

た構造である(A機)。他の一つは同じくティラー型作業機でA機と同じ様な整地部を持つが、特にそりを取り去りその重量をティラーの水田車輪のみで受けさせ、整地板の接地圧はティラー前部の重錘の位置を変える事で調整した。ティラーの車輪は700mmφのパイプ車輪に13個のラグが取り付けられた構造である(B機)。整地板の接地圧は測定しなかったが、両機とも規定の深さに植え付けられるように調整され、整地板は丁度田面を滑走する状態であった。

田植機の上下変動(変位)の連続的な検出と記録は基準点の設定に困難な点があるため加速度をもって測定した。加速度計は非接着型抵抗線歪計を用い、その特性は容量2G、固有振動数120Hzであり、また記録のために使用した直記式電磁オシログラフのガルバノメータの固有振動数は300Hzである。ティラー本体の車軸直上附近(第2-5図)と田植機整地板上(第2-6図)に上下方向の加速度を検出するように加速度計を取り付けた。ガソリンエンジンを取り付けたまま田植機を走行させたところ、ガソリンエンジンに起因する振動が大きいため、電動機に取り替えて実験を行なった。

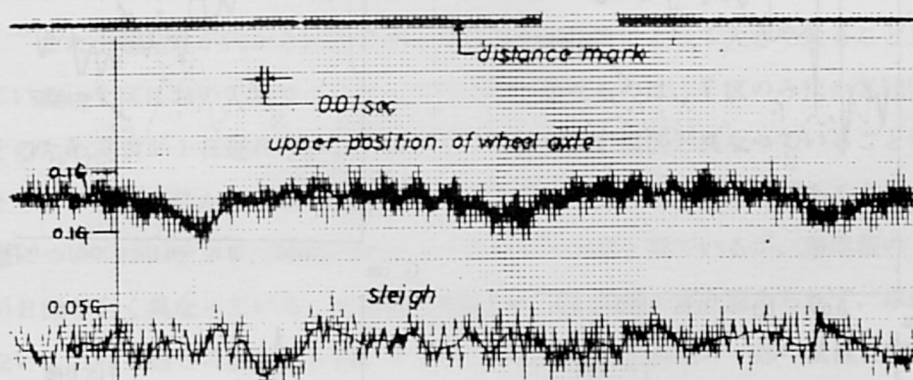


第2-5図 加速度計の取付状況(1)



第2-6図 加速度計の取付状況(2)

得られたオシログラムの一例を第2-7図に示す。このオシログラム上に現われた加速度の高周波部分を平滑して、走行距離2cm相当の間隔で読み取った。なお走行速度はA機では0.25m/sec, B機では0.31m/secであった。

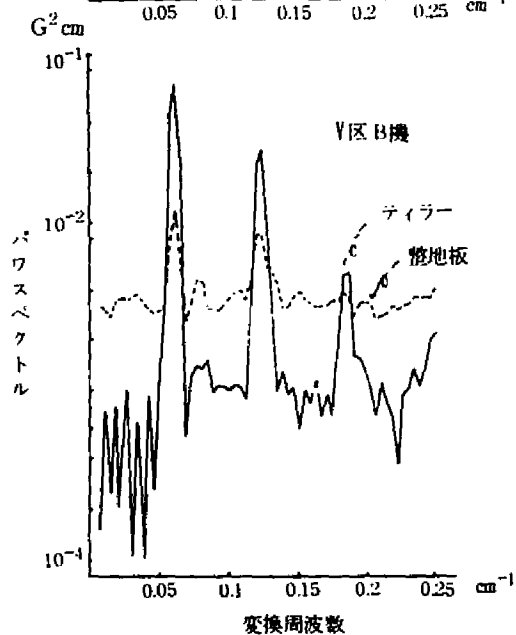
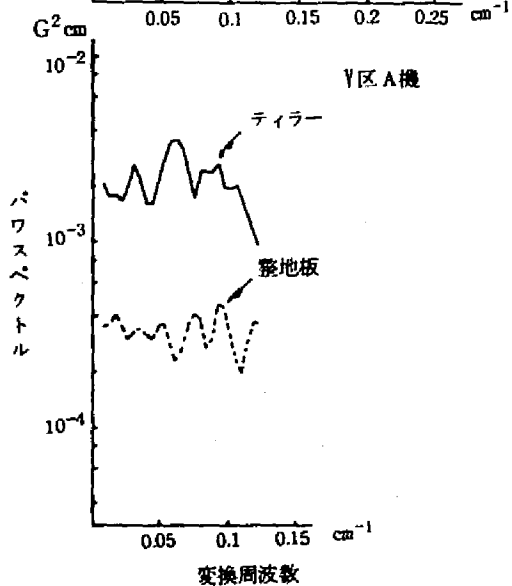
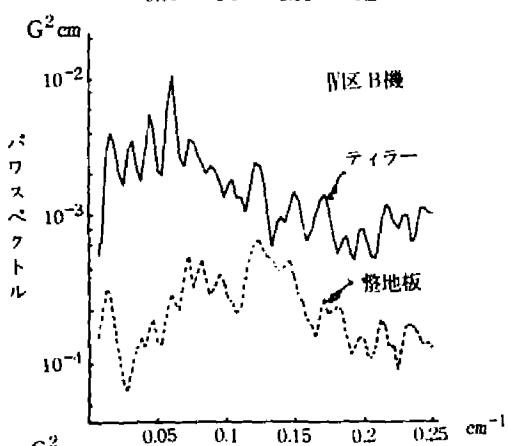
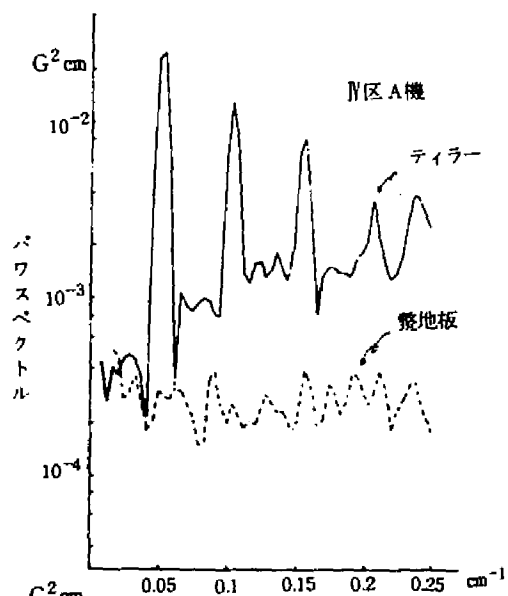
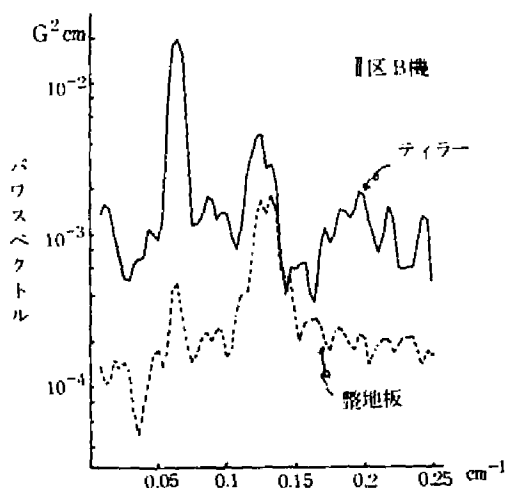
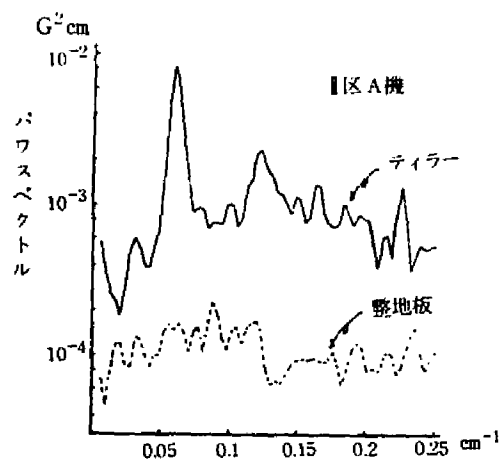


第2-7図 オシログラムの一例

2) 結果と考察

(a) 上下変動のパワスペクトル 第2-8図に両機の上下変動のパワスペクトルを示す。車輪などの振動のパワスペクトルを示す場合は時間の逆数を単位とした周波数でパワスペクトルを求めるのが一般的であるが、水田のおうとつに対する影響を明らかにするのが目的であるため、横軸には距離の逆数である変換周波数²⁻¹¹⁾を用いた。この図からそりとティラー本体ではB機のV区を除いて明らかにティラー本体が大きいことを示している。

ティラー本体の上下変動についてみれば、ラグ先端間隔の37%附近の波長に相当する変換周波数で卓越したピークが認められ、またその2,3倍の変換周波数で明らかに大きなピークが



第2-8図 田植機の上下変動

認められる。87%前後の値を示したのは実際の水田車輪の回転半径がその最大半径より小さいことと滑りによるものであろう。代かきを2回行なった区では水田車輪のラグに関連したとみられるピークが特に大きく、それ以外のピークがほとんど認められない。これに反してブラウ耕の方向と直交したⅣ区では車輪のラグによると思われるピークが他区のように明りょうでなく、種種の変換周波数のものが現われている。Ⅱ区については丁度その中間的なパワースペクトルを示している。これはⅤ区で耕盤のおうとつが大きく、その影響が現われたものと考えられる。

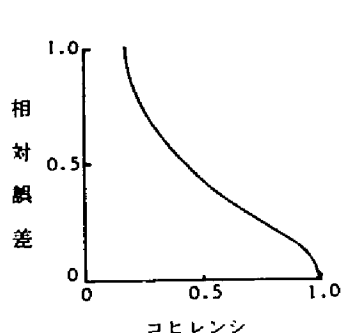
次にB機整地板の上下変動について検討しよう。Ⅱ区ではラグ間隔の半分に相当する変換周波数附近でパワースペクトルが大きく、ラグ間隔に相当する変換周波数附近でもピークがあり、整地板の上下変動がラグの影響を明らかに受けている。Ⅳ区ではラグ間隔の2倍に相当する変換周波数で大きなピークが認められるがティラー本体におけると同様に、他の区のように卓越したピークは認められない。Ⅴ区においてはラグ間隔およびその2倍に相当する変換周波数でピークがあり、それ以外では平たんに近い。代かきされた土壌はほぼ2cm沈下して安定すると言われており、また間隙比の大きい土壌では自然土とこね返した土壌の力学的性質が大きく異なり²⁻¹²⁾ また土壌粘性が代かき回数と代かき後の経過日数によって大きく変ることも指摘²⁻¹³⁾ されている。Ⅴ区においてパワースペクトルの形状が異なるのは、Ⅴ区のみ代かき回数が1回多く、そのため実験が1日遅れ代かき土壌の動力学的挙動が他区と異なっていることによるものと考えられる。今後代かき土壌の動力学的因子を定量的に調査する必要がある。

A機については、ティラー本体のパワースペクトルはB機と似ているが、整地板の上下変動の様子がB機と全く異なっている。すなわち車輪のラグの影響が余り認められず、卓越したピークがない。このB機との相違はA機がティラー本体および田植機の一部の重量を車輪と尾そりによって耕盤で支え、作業機部がばねを介してティラーに取り付けられて田面に支えられているためである。

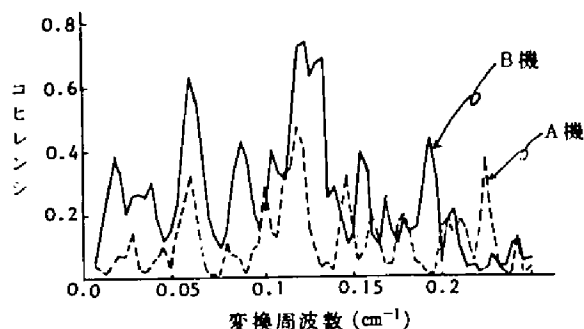
田植作業の能率化のために、田植機の大型化と高速化が望まれるが、いずれの場合もその重量を耕盤で支える必要性が増し、また作業機部の上下変動が現在よりも大きな問題になると推定される。この場合の方策として、たとえば車輪のラグ等上下変動の原因となるものを明らかにし、その周期の変動を受け難い力学的な系を持つ取付け法を考案することが重要となろう。

(b) 整地板の上下変動に及ぼす要因 整地板の上下変動に及ぼす要因として、(i) ティラー本体の上下変動、(ii) 耕盤のおうとつ、(iii) 田面のおうとつ等が考えられる。いずれもその間にはそれぞれの周波数において因果関係があり、これらの関係を示す推定値が信頼できるか否かはコヒレンシを求めることによって明らかとなる。この実験で計算に際しウインドウを赤池の W_1

(式(2-3))に採り、ずらしの数をデータ数の10%に採っているため、F検定における信頼の水準を95%とすればコヒレンシと相対誤差の関係²⁻⁴⁾は第2-9図の通りである。

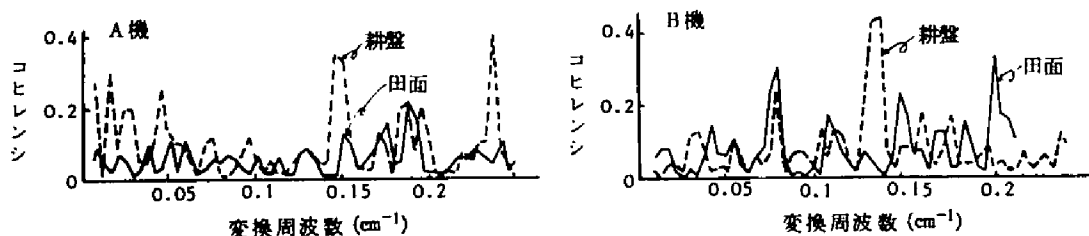


第2-9図 コヒレンシーと相対誤差



第2-10図 ティラー本体と整地板

第2-10図に両機のティラー本体と整地板の間のコヒレンシを示すが、その値はそり無しのB機が大きい。両機種とも車輪のラグに起因する変換周波数における値が当然とは言え大きい。次に水田のおうとつと整地板との関係について検討しよう。例としてⅠ区における耕盤と整地板の間および田面と整地板の間のコヒレンシを求めた結果を第2-11図に示す。ほとんど



第2-11図 水田のおうとつと整地板の上下変動

が0.2以下で相対誤差が極めて大きくなり、これらの間において信頼できる関係の存在は明りようでない。これはティラー本体の変動に起因するものが大きいのも一理由である。一般にコヒレンシが小さい場合は実験をより長時間にわたって行ない、データ数を増大して検討するのが普通であるが、その前に田植機が走行する際に耕盤や田面を变形させて系を乱す可能性についての検討が必要となる。しかし耕うん法の異なるほ場で明らかに上下変動のスペクトルが異なる以上そこには何らかの明らかな要因が存在すると考えてよく、耕盤になるべくおうとつを作らない耕うん法を用いる必要がある。

5. 本章のまとめ

ティラー装着型田植機整地板の上下変動はティラー本体の上下運動および耕盤と田面のおうとつによって生じ、それらの間の関係が線形であると仮定して、パワスペクトル法を用いてそれらの相互関係を求めた。この場合、土壌の変形、土壌の動的性質の不詳および線形の振動系と仮定したことなどに問題を残したが、大略次の結果を得た。

- (1) 耕盤と田面のおうとつのパワスペクトルと波長の逆数である変換周波数との関係は、過去の畑地や道路などのおうとつの研究結果と同様に、両対数グラフにおいてほぼ直線で表わされる。プラウ耕と直交した区ではプラウ巾の波長のおうとつが認められ、田植機の進行方向とプラウ耕の方向は同一であることが好ましい。田面のおうとつは耕盤のおうとつよりも小さく、耕盤のおうとつは畑地のうねに沿ったおうとつに、田面はコンクリート舗装道路のそれに匹敵している。
- (2) 加速度計を用いて田植機の上下変動を求めた。ティラー本体の変動は主として水田車輪のラグに起因する。これは代かきを丁寧に行なった区で顕著である。また耕盤のおうとつの大きな区では水田車輪のラグ以外による種種の変動がみられる。整地板の上下変動は田植機の取り付け方にもよるが、標準形とされている形式で重量の多くを車輪とそりで支え、作業機部をばねを介して取り付ける方法であれば、比較的ラグの変動を受け難い。今後ラグなどによる上下変動を解明し、その影響を受け難い作業機部の装着法を考案することは重要であろう。
- (3) 整地板の上下変動に及ぼす水田のおうとつの要因はティラー本体の上下変動の影響が大きいのか判然としなかったが、耕うん法の異なるほ場で明らかに上下変動のスペクトルが異なる以上、耕うん法の要因が存在することは明らかで、耕盤を乱すことの小さい耕うん法が必要である。

引用文献

- 2-1) 並河 清；水田のおうとつと田植機の上下変動．農業機械学会誌．vol.32. p.186. 1970
- 2-2) BEKKER, M. G.; Off-the-Road Locomotion. p.41. Univ. of Michigan Press. 1960
- 2-3) 川合平夫, 他；自動車走行時の振動についての一考察．新三菱重工技報．vol. 6. p.51. 1964
- 2-4) 赤池弘次；スペクトル解析．磯部 孝編．相関関数およびスペクトル．p. 28. 東大出版会．1968
- 2-5) 統計数理研究所；不規則振動のスペクトル解析．p. 61. 1962

- 2-6) 赤池弘次 ; 不規則振動の統計的処理. 日本機械学会第 198 回講習会教材. p.17. 1963
- 2-7) WENDENBORN, J. G.; The Irregularity of Farm Roads and Fields as Source of Farm Vehicle Vibrations. J. Terramechanics. vol.3. No.3. p.9. 1966
- 2-8) BROWN, R. S.; Automatic Surveing System Measures Runway Roughness. Electronics. vol.33. No.25. p.54. 1960
- 2-9) 庄司英信, 他 ; 農機具に対する水田しろかき土壌の支持性について. 農業機械学会誌. vol. 24. p.176. 1963
- 2-10) 中村一郎 ; 不規則振動解析の実際. 日本機械学会第 271 回講習会教材. p.51. 1967
- 2-11) 川合平夫, 他 ; 自動車走行路面の性質と振動乗心地への関連性. 三菱重工技報. vol.2. p.164. 1965
- 2-12) 河上為義 ; 土質力学. p.84. 森北出版. 1957
- 2-13) 山沢新吾 ; 耕うん整地上から見た田植機. 農業機械学会第 1 回機械化シンポジウム資料. p.10. 1969

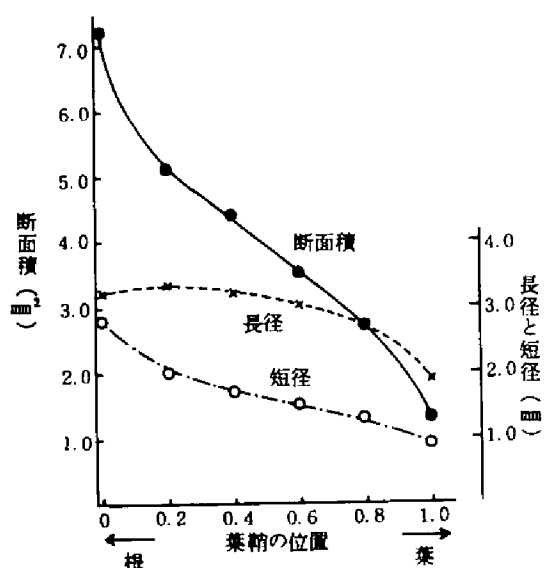
第3章 苗のヤング率³⁻¹⁾

1. はじめに

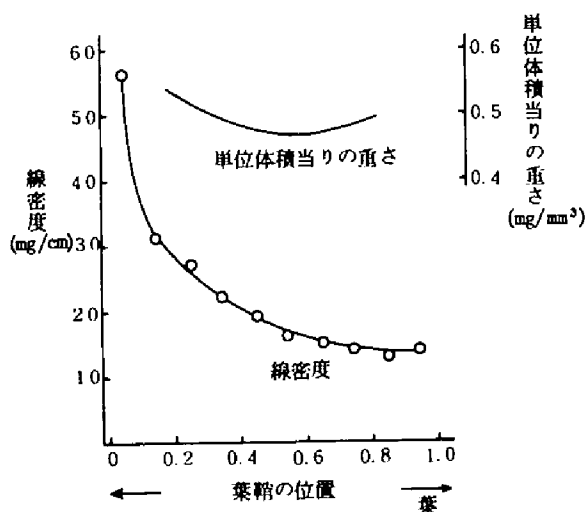
水稻苗とくに成苗の場合、根部や葉部の傷害は回復し易いが、茎部の傷害は致命的になる場合がある。現在の田植機はそのほとんどが土付き稚苗（20日苗）あるいは中苗（30日苗前後）を使用しているが、成苗の移植に対する要望も大きい。また田植機の開発改良上苗の性状を充分には握る必要があろう。ここに苗の物理的性質のうちとくにヤング率に関する事項を取り上げて測定を行なった。水稻苗のヤング率についてはこれまで三浦ら³⁻²⁾ および農業試験場³⁻³⁾ によって測定されているが、その結果前者は播種後日数に比例してその値は増大し $2 \sim 7.2 \text{ kg/mm}^2$ であるとし、後者は $4 \sim 12 \text{ kg/mm}^2$ であるとしている。この値の相違は苗の品種、育苗法、葉令、部位などの苗の素質に起因するほか、測定法の差も原因と考えられる。三浦らは引張り試験を行なっているが、試験機クランプ部の滑りが考えられ、また苗の断面積を外径によってのみ取り扱ったことの適否も検討する必要がある。一方農事試験場では両端支持で中央に載荷する方法を採用しているが、試料片の長さが短いため、載荷部ならびに支持点における局部的変形の恐れがある。著者はここに引張り試験法、片持ちばりによる曲げ試験法および固有振動数法によってヤング率を求め、これらの試験法について検討した。なお苗のヤング率は外層の葉鞘も内層の葉鞘も等しいと仮定して取り扱う事にした。

2. 実験方法

1) 供試苗 中生新千本を $25 \times 52 \text{ cm}$ 深さ 10 cm の苗箱に慣行の栽植密度 ($0.11 \ell/\text{m}^2$) に従って条間、株間それぞれ 2 cm に1粒ずつ播種し、この苗箱を水槽に入れ、折衷苗床として電熱育苗器を使用して10月中旬に育苗した。土壌は床土（砂壤土）を用い、箱当り窒素、りん酸、加里をそれぞれ 2 g 施肥した。供試した苗はほぼ40日苗相当と見なされ、葉令は20本平均 6.3 ± 0.2 葉、草丈は $29.2 \pm 2.3 \text{ cm}$ であった。葉鞘部の断面はだ円とみなすことができるため、その長径と短径を求め、これより断面積を算出し、10個の試料の平均値の長手方向への変化について第3-1図に示す。この図において横軸は根のつけ根から最外層の葉鞘節までの間を1とし、それを等分した値を示している。葉鞘節なる言葉はわが国の作物関係の分野においては使用されていないが、葉耳および葉舌の部分は巨視的に観察すれば節を形成しているので、この意味において使用する。また同様にして葉鞘部の線密度³⁻⁴⁾ を第3-2図に示す。すなわ



第3-1図 葉鞘の位置

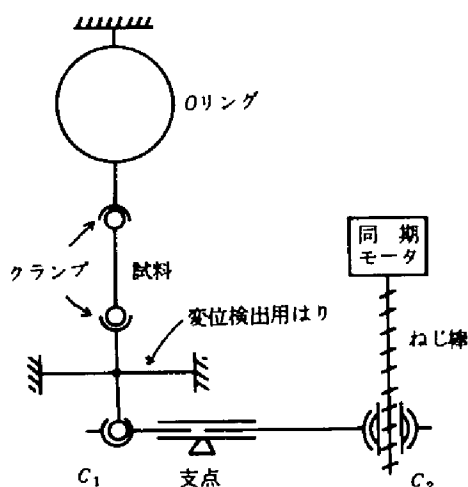


第3-2図 葉鞘の線密度と単位体積当りの重さ

ち両端を除けば断面積も線密度もほぼ直線的に変化することが認められる。次に単位体積当りの重さの変化については、第3-2図の線密度を第3-1図の断面積で除した商で求め同じく第3-2図に示す。すなわち下にとつの形であるが両端を除けばほぼ均一と仮定しても大きな間違いにはならない。ここで操作中における乾燥等で試料に変質が生ずることを恐れ、線密度と断面積をもとめた標本は異なるが、同じ母集団のものであるため、この方法を探った。

2) ヤング率測定法

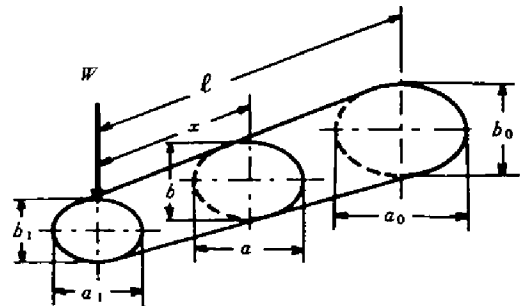
a) 引張り試験法 第3-3図に示す試験機を試作使用した。その性能は最大荷重 1.5 kg, 最大変位量 20 mm, 試料最大長 100 mm, 変位速度約 6 mm/min である。載荷機構は 30 rpm, 5 watt の同期モータによってねじ棒 (W 3/8 並目) を回転させ、これをレバーの上下運動に変換させて試料片に引張り荷重を加えるものである。ねじ棒は垂直であり $C_1 \cdot C_2$ 点を垂直運動させるために $C_1 \cdot C_2$ 点をまわり対偶とし、レバーをすべり対偶をもつ可変長レバーとした。荷重と変位の検出および記録にはそれぞれ歪ゲージを接着した O リングと両端固定ばり、電池および直流増幅器付きペンレコーダを使用した。荷重測定部の変位を小さくしたいために、4 ゲージ法を



第3-3図 引張り試験機概念図

を用い、1ゲージあたり25mAの電流を流した。クランプの試料接触面は金属面にゴムを張り、さらに240番の研磨紙を接着し、試料の破壊とすべりを防ごうとしたが、僅かのすべりはあったようである。試料は30mm長のものを使用した。

(b) 曲げ試験法 引張り試験に用いたクランプのゴムと研磨紙を除去し、硬質ゴムを介して根部側を固定して片持ばりとした。試料の自由端に細い銅線を接着テープの小片で接着し、それにケント紙で作った直径3cmの受け皿を取付け、荷重には化学天びんの分銅を用い、荷重と変位の関係を求めた。変位は前もって設定した基準からの距離を1/20mm副



第3-4図 試料の模型図

尺つきのノギスで測定した。いま第3-4図のように苗を模型化してヤング率を求めれば次の通りである。

苗の断面をだ円と仮定し、自由端の長短軸長をそれぞれ a_1, b_1 mm, 固定端で a_0, b_0 mmとし、自由端を原点にとり x mmの位置の長短軸長を a, b mmとする。自重は無視し、荷重 W kgを自由端に載荷した時、自由端および自由端から x mmの地点のたわみ量をそれぞれ y_1, y mmとする。曲げモーメントを M kg·mm, 慣性能率を I mm⁴ および曲げ試験法で求まるヤング率を E_2 kg/mm² とすれば、たわみの基礎式は

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{E_2 I} \quad (3-1)$$

であり、ヤング率を一定とすれば

$$y = \frac{1}{E_2} \iint \frac{M}{I} dx dx$$

となり、 $M=Wx$, $I = \pi ab^3/64$ とすれば、次式が得られる。

$$y = \frac{64W}{\pi E_2} \iint \frac{x}{ab^3} dx dx \quad (3-2)$$

第3-1図から中央部分では a, b 共に x の一次関数で近似することができるので、 $\Delta a = a_0 - a_1$, $\Delta b = b_0 - b_1$ とし、試料片の長さを ℓ として、 $A = a\ell/\Delta a$, $B = b\ell/\Delta b$ とおくと、

$$y = \frac{64W\ell^4}{\pi Aa \Delta b^3 E_2} \iint \frac{x}{(x+A)(x+B)^3} dx dx \quad (3-3)$$

となりこれを解いて

$$E_2 = \frac{64W\ell^4}{\pi Aa \Delta b^3 (B-A)^3 y_1} \left\{ A^2 \ln \left| \frac{B(A+\ell)}{A(B+\ell)} \right| + \frac{\ell(B-A)(2B\ell - 2AB - 3A\ell)}{2(B+\ell)} \right\} \quad (3-4)$$

が得られる。

(c) 振動試験法 可変速の小型加振モータ (Martin Eng. Co. 製) を取り付けた加振台に曲げ試験法において用いたクランプを取り付け、これに苗を片持ちばりとして固定した。加振周波数を変えることにより固有振動数を求め、この値から次式によってヤング率を求めた。固有振動数の測定に当っては、その振動が一次であることを確かめる必要があり、ストロボスコープを使用した。

漸変断面片持ちばりの固有振動数 f Hz は次式で与えられる。³⁻⁵⁾

$$f = \frac{\alpha k}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E_3 g}{\tau}} \quad (3-5a)$$

$$S = S_0 \left(1 - c \frac{\ell - x}{\ell} \right) \quad (3-5b)$$

ここに； E_3 は振動法で求まるヤング率 (kg/mm^2)， k は固定端における回転半径 (mm)， ℓ ははりの長さ (mm)， τ は単位体積の重さ (kg/mm^3)， g は重力の加速度， α ははりの x 方向の形状変化によって定まる無次元の係数， S_0 は固定端の断面積 (mm^2)， S は自由端から x mm の距離における断面積，またははりの x 方向への形状変化が式 (3-5b) で表わされるとき c に対する α の値は次表の通りである。 α の値は測定から求めた c の値から内そうによって求めた。

第3-1表 式 (3-5) における c と α の関係

c	0.0	0.4	0.6	0.8	1.0
α	3.515	4.098	4.589	5.398	7.16

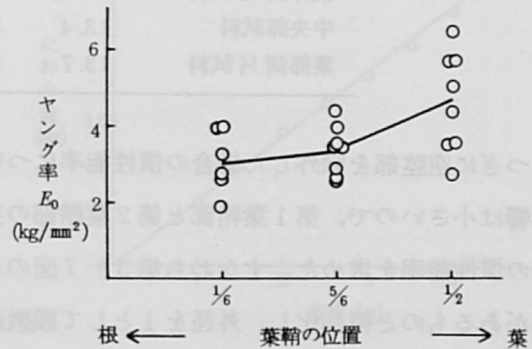
3. 実験結果と考察

1) 試料の位置とヤング率の相違

長手方向の位置によるヤング率の相違を調査し、その相違の有無によって試料の長さを定めようとした。そのため葉鞘部を3等分し、それぞれ8個の試料について引張り試験法によって荷重と伸びを求め、次式によりヤング率 $E_0 \text{ kg/mm}^2$ を算出した。

$$E_0 = \frac{P/S}{\Delta \ell / \ell} \quad (3-6)$$

ここに； ℓ はクランプ端間の距離、 $\Delta \ell$ は荷重 P のときの試料の伸び、 S は試験前の試料中央部の断面積である。その結果第3-5図に示すように根側 $\frac{1}{6}$ と中央 $\frac{5}{6}$ の部位では大きな差はないが、葉側 $\frac{1}{2}$ では大きい値を示した。後述するようにこの方法で得たヤング率の値には問題点を含んでいるが、この値から分散分析法によって、長手方向の位置によるヤング率の相違を検定

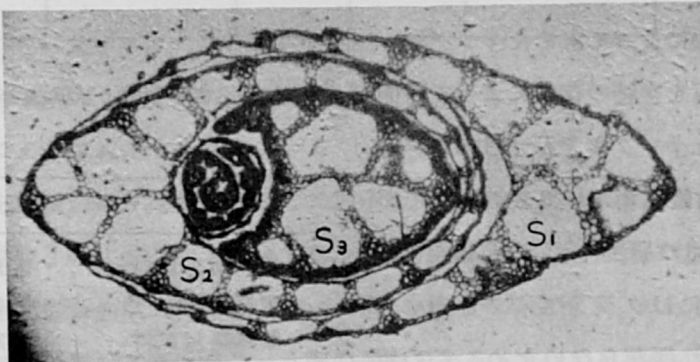


第3-5図 部位別ヤング率

した。すなわち三つの部位のヤング率の間には5%水準で有意な差が認められたが、根側 $\frac{1}{6}$ と中央 $\frac{5}{6}$ の試料の間について、また中央 $\frac{5}{6}$ と葉側 $\frac{1}{2}$ の試料の間についてはそれぞれ5%水準で有意な差は認められなかった。グラフ上のばらつきも考慮しや、根側で最外層鞘部の $\frac{2}{3}$ 以下の長さの試料を使用することにした。

2) 葉鞘部の断面積と慣性能率

実験に用いた苗の葉鞘部の断面を第3-6図に示す。その組織は空腔部、維管束、厚膜組織、



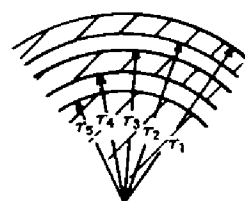
第3-6図 葉鞘の断面

隔壁柔組織および隔膜に分けられる。³⁻⁶⁾ 空腔部と隔膜を除外し、それ以外の組織はその物理的な性質を巨視的に取扱って均質と仮定する。第3-6図に示すように葉鞘の空腔部の面積を外側の葉鞘から S_1 , S_2 および S_3 とし、また $S_a = S_1 + S_2 + S_3$ とする。これをプランメータで実測した結果を第3-2表に示す。この結果空腔部の面積は全断面積の約37%である。

第3-2表 空腔部の面積 (%)

試料部位	S_1	S_2	S_3	S_a
根部側 1/2 試料	10.6	13.4	9.0	33.0
中央部試料	13.4	13.4	8.4	35.2
葉部側 1/2 試料	13.7	17.8	10.4	41.9

つぎに空腔部を除外した場合の慣性能率について検討しよう。中心部の第3葉鞘部の空腔の影響は小さいので、第1葉鞘部と第2葉鞘部の空腔を除外した場合の慣性能率を求めた。すなわち第3-7図のように環状に空腔があるものと模型化し、外径を1として顕微鏡写真から r_2 , r_4 にそれぞれ0.9および0.7を与え、さらに空腔部の面積の実測値から r_3 と r_5 を算出すれば、 $r_3 = 0.83$ と $r_5 = 0.5$ が得られる。空腔部を除かない場合の慣性能率を I 、空腔部を除外した場合の慣性能率を I' とすればその比は



第3-7図 断面の模型

$$\frac{I'}{I} = \frac{\{(r_1^4 - r_2^4) + (r_3^4 - r_4^4) + r_5^4\}}{r_1^4} = 0.70$$

となる。すなわち空腔部の存在を考慮すれば、空腔のない均質断面とした場合の約70%となる。

3) 引張り試験法によって求めたヤング率

第3-5図の値を空腔の存在によって断面積を修正して得たヤング率を E_1 とする。 E_0 および E_1 の平均値は第3-3表の通りである。この値は前述の研究^{3-2,3)} の範囲内である。しかし実際にはクランプにおけるすべりを考慮しなければならないため、この値よりは大きいと思われる。また引張り試験に

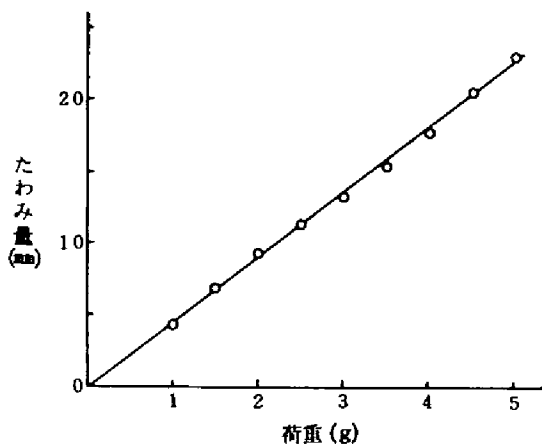
第3-3表 引張り試験法で求めたヤング率
(単位 kg/mm^2)

試料部位	E_0	E_1
根部側 1/2 試料	3.1	4.6
中央部試料	3.4	5.3
葉部側 1/2 試料	4.7	8.1
平均	3.7	6.0

において切断する際の状態を観察すればほとんどが第1葉鞘部で切断されている。葉鞘部間にすべりが存在し、第1葉鞘部のみで荷重を受けているものとすれば、空腔部を除いた第1葉鞘部面積は全断面積の20.3%であるため、ヤング率は葉鞘部の中央部の試料でほぼ 16 kg/mm^2 となる。

4) 曲げ試験法によって求めたヤング率

第3-8図に自由端に載荷した荷重と自由端のたわみ量との関係を示すが、両者の関係はこの荷重の範囲では直線的であると考えられる。葉鞘部の短長径を各試料について数箇所測定し、それをおのおの直線に近似し、固定端と自由端の短長径を定め、試料の長さ、荷重およびたわみ量を式(3-4)に代入してヤング率を求めた。その結果第3-4表に示すように葉鞘の断面を均質と仮定した場合 $16 \sim 25 \text{ kg/mm}^2$ 、平均 20 kg/mm^2 、空腔を考慮



第3-8図 葉鞘における荷重とたわみ量

第3-4表 曲げ試験法で求めたヤング率

固定端の径 mm	自由端の径 mm	試料長 mm	たわみ量 mm/g	均質とした 場合のヤング率 kg/mm ²	空腔を考慮した 場合のヤング率 kg/mm ²
3.42×1.47	2.85×1.10	68.0	10.3	25	36
3.25×2.00	2.87×1.12	68.0	6.2	21	30
2.94×1.64	2.52×1.02	63.5	10.4	19	27
2.61×1.86	2.50×1.35	69.5	9.6	18	26
3.40×2.09	3.00×1.40	62.5	4.6	16	23
平均				20	28

した場合 $23 \sim 26 \text{ kg/mm}^2$ 、平均 28 kg/mm^2 である。

5) 振動試験法により求めたヤング率

葉鞘の根部側を加振台に片持ちばりとして固定し、式(3-5)に代入するのに必要な値、すなわち固有振動数 $f \text{ Hz}$ 、単位体積当りの重さ $\gamma \text{ kg/mm}^3$ 、固定端の断面2次半径 $k \text{ mm}$ 、はりの長さ $l \text{ mm}$ および固定端断面積 S_0 と固定端から $\frac{2}{3}l$ の位置の断面積 $S_{\frac{2}{3}l}$ から c をそれぞれ求めた。これらの値およびヤング率は第3-5表の通りである。すなわち葉鞘の断面を均質と仮定した場合 $32 \sim 46 \text{ kg/mm}^2$ 、平均値 39 kg/mm^2 、空腔を考慮した場合 $29 \sim 42 \text{ kg/mm}^2$ 、平均値 35

kg/mm² である。

第3-5表 振動試験法で求めたヤング率

S_0 mm ²	$S_{\frac{2}{3}}$ mm ²	ℓ mm	c	k mm	f Hz	E_s kg/mm ²	E_s^* kg/mm ²
3.96	2.65	64.5	0.496	0.45	64.2	38	34
4.25	3.53	71.4	0.254	0.45	43.8	45	40
4.47	3.53	79.0	0.315	0.48	45.7	46	42
4.62	3.19	64.0	0.464	0.48	63.0	32	29
4.62	3.30	77.8	0.429	0.48	44.2	36	33
4.71	3.30	80.5	0.449	0.50	45.3	38	35
4.77	3.08	74.8	0.531	0.48	50.7	36	33
5.11	3.77	73.9	0.393	0.53	53.3	36	33
5.44	3.77	81.0	0.460	0.53	49.2	42	38
6.22	4.40	78.0	0.439	0.55	55.5	43	39
平均						39	35

* E_s^* ; 空腔を考慮した場合

6) 試験法の相違とヤング率

異なった試験法によって得られたヤング率は、引張試験では 5.9 kg/mm²、曲げ試験では 28 kg/mm²、振動試験では 35 kg/mm² と異なった値を示し、引張り試験による値が特に小さい。引張り試験の場合は第1葉鞘部で荷重を受けたとしても 16 kg/mm² である。引張り試験法によって得た値が他の方法で得たものに比して小さく、またクランプにおける滑りなど不明な点があるため除外すれば、葉鞘部のヤング率はほぼ 28~35 kg/mm² となる。

本章においては前提条件として葉鞘部を空腔部を除いては均質な物質として論議を進めて来たが、断面を観察すれば組織によってヤング率も異なると思われる。微視的には繊維性のものとマトリックスの混在した異方性の物質³⁻⁷⁾ とみなした方が妥当性がある。この場合は極めて小さい試料で測定する必要がある。しかし一般的に巨視的にヤング率を測定する方法について検討すれば、加振台とストロボスコープなどの測定器があれば振動法が簡便であり、測定器類がなければ曲げ試験法が好ましい。

4. 本章のまとめ

水稻成苗の葉鞘部を漸変断面を持つ密度一様で空腔のある等方性の弾性体と仮定して、引張り試験法、曲げ試験法および振動試験法によってヤング率を求めた。葉鞘部の断面を調査した結果、空腔部の面積は全断面の 37% を占め、慣性率を空腔を考慮すれば、均質と考えた

場合の約70%である。ヤング率の試験法による相違は認められ、特に引張り試験法によって求めた値は他の方法によるものに比して極めて小さい。これはクランプにおける滑りと、第1葉鞘部が受ける荷重が大きいことも原因ではないかと考えられる。曲げ試験法と振動試験法とでは後者による値が大きい。引張り試験法により得られた値を無視すれば大略28~35 kg/mm²と考えられる。試験の簡便さの点でもこの両者の方法は良い。しかし苗の組織を考慮し微視的に取り上げるならば繊維性のものとマトリックスの混在した異方性のものと考え、新しい試験法を開発する必要がある。

引用文献

- 3-1) 並河 清; イネ苗のヤング率について. 農業機械学会誌. vol.32. p.193. 1972⁰
- 3-2) 三浦 保, 他; 稲苗の物理的性状に関する研究. 農業機械学会誌. vol.29. p.50. 1967
- 3-3) 農事試験場作業技術部; 昭和42年度水田作の機械化に関する試験成績. p.69. 1968
- 3-4) RALPH, P. P.; Measurement of Ultimate Strength of Forage Stalks. Trans ASAE vol.4. p.208. 1961
- 3-5) 日本機械学会; 機械工学便覧. 3-54. 1961
- 3-6) 戸刈義次, 他; 食用作物. p.41. 養賢堂. 1961
- 3-7) 林 毅; 繊維強化材料の力学. 日本機械学会誌. vol.71. p.721. 1968

第4章 田植機用苗の障害と初期生育⁴⁻¹⁾

1. はじめに

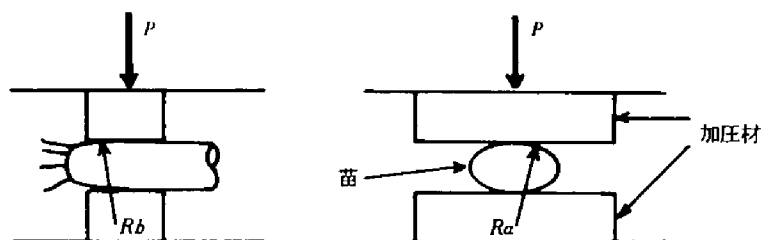
田植機によって移植を行なう場合、慣行の手移植の場合とは異なった障害の発生とそれが生育に及ぼす影響が心配される。この障害が最終的な結果である収量に対して致命的なものであるか、もしくは許容されるべき範囲内のものであるかを明らかにし、田植機の開発改良および田植機の利用技術に対する一つの指標を得ようとした。収穫機の開発や導入の際の得失は定量的に表示することも可能であるが、田植機の場合には困難な要素が多い。そのため機械に対して過酷な条件を与えることは、必ずしも当を得たことではない。ここに田植機を利用した場合に生ずるいくつかの要因を取り上げ、その影響を巨視的に明らかにした。要因としては(i)成苗根洗い苗に対するピンセットの材質と圧縮力、(ii)土付き苗の株分離の方法、(iii)植付け角度である。研究の方法としては苗の生理的、組織的見地から解明することも重要であろうが、農業機械の分野からは植付け後の生育過程における生育の遅れを明らかにする事が必要であるため、植付け後の植物体の生産量を示す乾物量をもって検討する事とした。

2. ピンセットの材質と加圧力の影響

1) 実験の目的と方法

ピンセット方式を採用している成苗根洗い苗用田植機では腰折など明らかな機械的損傷が生ずる場合もあるが、ピンセットが丁度苗の生長点の位置を保持するため、植付け時において外観的異常は認められなくても植付け後に生育障害を起すことが予想される。苗を保持するための外力による生育障害については田原⁴⁻²⁾によってその研究がなされた。しかし加圧力の範囲が大きく、また収量などを調査しているが、種々の生育に関連した要素が結果に含まれていると考えられる。本報では現在のピンセットの加圧力の範囲で、しかもその影響が顕著に表われるとみなされる初期生育のみ調査した。実験の配置は次の通りである。(1) 苗の大きさ；30日苗、40日苗および50日苗の3水準。(2) 加圧材；鋼および硬質ゴムの2水準。(3) 加圧力；0.5 kg, 1.0 kg, 1.5 kgおよび無加圧の4水準。(4) 調査期日；移植後10日目および20日目。1区26株で4反覆行なった。苗は京都大学農学部附属京都農場の慣行によって水苗代で育苗された中生新千本で、播種時期は5月2日である。供試苗のばらつきを少なくするため、分けつ数、草丈および葉令で試料をそろえた。供試苗の草丈は30日苗で 19 ± 2 cm, 40日苗で21

± 2 cm, 50 日苗で 27 ± 2 cm の範囲内にあるもので, 50 日苗では根の伸長が良好なため 4 cm に切断して使用した。加圧の状況を下図に示すが, 加圧材の巾は上下とも 5 mm である。市販さ



第 4-1 図 加圧方法

れている田植機におけるピンセットの苗を保持する力を電気抵抗歪計を使用した測定器を試作し測定した結果, 最大値は 400 ~ 690 g であった。衝撃的に苗をはさむ事を考慮して 2 倍の値をとって, 実験の際の加圧力を最大 1.5 kg とした。

処理した苗は初期生育の調査のため, 栽植密度を 12×6 cm に 1 株の割合とし, 1 株 1 本ずつ手移植した。移植深さは生育調査のため抜き取る際に測定した結果 3 ~ 3.5 cm であった。生育調査には 2 m 四方の精密試料ほを数個使用した。a 当り窒素, リン酸, 加里を 750 g, 500 g, 500 g それぞれ施肥した。調査期日に抜き取り, 草丈と分けつ数を調査後洗浄し, 根部をふくめて 130°C で 3 時間乾燥後その重さを測った。

2) 実験結果と考察

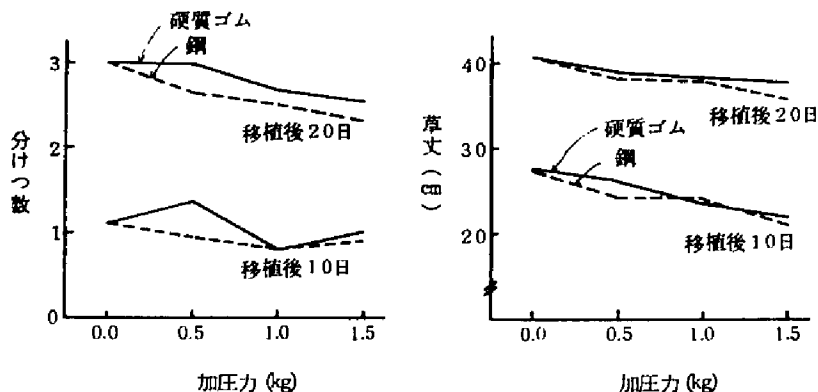
外観によって生育障害を判定することは困難であるが, 明らかなものすなわち枯死苗および葉先の枯れの著しいものは第 4-1 表の通りである。この表からも加圧力の大きいほど, 硬質

第 4-1 表 外観に現われた障害

(単位: 件数)

加 圧 材	加 圧 力 (kg)	移 植 後 日 数 (日)	傷 害		顕 著 な 葉 先 の 枯 れ						枯 死			
			苗 (日)	(日)	30			40			30		40	
					10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
鋼	0.5				0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1.0				0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	1.5				5	2	0	3	0	0	2	1	1	0
硬質ゴム	0.5				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5				4	0	2	0	0	0	1	0	0	0

ゴムよりも鋼で加圧したもの、老熟苗よりも若苗のほうがそれぞれ障害が多いことがうかがえる。次に影響の大きい若苗（30日苗）について、枯死したものを除いた草丈と分けつ茎数の平均値を下図に示す。加圧材と加圧力の影響が表れている。



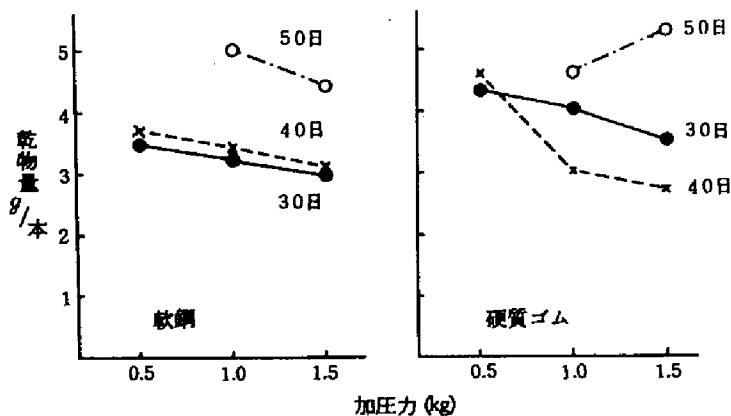
第4-2図 加圧方法と移植後の生長

つぎに30日苗の乾物量の分散分析の結果を第4-2表に示す。なお40日苗および50日苗では調査期日の項以外に有意な差は認められなかった。有意差はなかったが、30日苗との比較もあって乾物量の平均値を第4-3図に示す。平均値的にはゴム加圧の50日苗を除いて、

第4-2表 加圧材・加圧力と初期生育

要因	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>mS</i>	<i>F</i>
反復	3	0.21	0.07	
移植後日数 <i>D</i>	1	208.42	208.42	930.4**
加圧材料 <i>M</i>	1	6.22	6.22	27.8**
加圧力 <i>P</i>	2	3.14	1.57	7.0**
<i>D</i> × <i>M</i>	1	2.26	2.26	10.0**
<i>M</i> × <i>P</i>	1	1.17	1.17	5.2**
誤差	38	7.62	0.22	

** 99%水準で有無



第4-3図 加圧方法と生長

いずれも加圧力の大きなる方が乾物量は少ない。以上の実験結果から定性的ではあるが、工学的見地からは次のような解釈ができる。

加圧材と苗はともに弾性体と仮定しよう。その場合 Hertz の理論⁴⁻³⁾を導入することによって、この接触状態は次のように表わすことができる。ここに加圧材の曲率（実際は無限大）を R_t 、苗の曲率すなわち第 4-1 図の R_a と R_b の平均曲率を R_r とする。また稲と加圧材の弾性係数をそれぞれ E_r と E_t 、ポアソン比をそれぞれ ν_r 、 ν_t とする。接触面はだ円であるが、平均半径 r とすると、荷重 P のもとで最大応力 q_0 は次式で求まる。

$$r = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{4} \frac{P(k_1 + k_2)R_t R_r}{R_t + R_r}} \quad (4-1)$$

$$\text{ここに} \quad k_t = \frac{1 - \nu_t^2}{\pi E_t} \quad (4-2a)$$

$$k_r = \frac{1 - \nu_r^2}{\pi E_r} \quad (4-2b)$$

$$q_0 = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi r^2} \quad (4-3)$$

ここで $R_t = \infty$ 、 $E_t \gg E_r$ 、 E_t と E_r の比に対して ν_t と ν_r との比は小さい、としよう。式(4-1)、(4-3)は式(4-4)、(4-5)のように表わし得る。

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \frac{P(1 - \nu_r^2)R_r}{E_r}} \quad (4-4)$$

$$q_0 = 0.5784 P^{\frac{1}{3}} R_r^{-\frac{2}{3}} E_r^{\frac{2}{3}} (1 - \nu_r^2)^{-\frac{2}{3}} \quad (4-5)$$

苗の生長に伴ない ν_r が余り変化しないと仮定しよう。苗のヤング率についてはすでに論議したところであるが、苗の生長にともなうヤング率の変化は、農事試験場の実験によれば、⁴⁻⁴⁾ マンリョウ、ヤマビコおよび金南風の平均として 7.6 kg/mm^2 (35 日苗)、 8.8 kg/mm^2 (44 日苗)、 7.8 kg/mm^2 (55 日苗) とあまり顕著ではないとしている。これらの事から

$$q_0 \propto P^{\frac{1}{3}} R_r^{-\frac{2}{3}} \quad (4-6)$$

となる。この事から荷重の大きなるほど内部応力が大となり、また R_r が小さいほど、すなわち苗が若いほど同じ荷重に対して内部応力が大きい事がうかがえる。最大垂直応力(= q_0)は表面で発生するが、剪断応力は r の $\frac{1}{2}$ よりやや深い位置で最大値を示す。30 日苗で加圧力の大き

い場合に顕著な葉先の枯れが認められるのは第1葉鞘の組織に表面のみならず内部にまで傷害を与えているのではないと思われる。また同じく第4-1表で苗の生長と共に初期生育の顕著な障害が減少しているが、これは R_1 の増大によることも一因であろう。

以上のことからピンセットで苗を保持する場合、植付け精度に支障のないかぎり、小さい力で保持することが好ましく、また材質は衝撃的な力による障害をさけるために粘弾性的性質をもつもの⁴⁻⁵⁾が好ましい。形状的にも R_1 が負¹⁻³⁾になる形状、すなわち内側にくぼむ形状が好ましい。

本節の障害については若苗を使用し、初期生育の遅れが収量に直接影響し易い寒冷地においては特に注意を必要とする事柄である。

3. 土付き苗の分離法と植付角度

1) 実験の目的と方法

田植機用土付き苗は田植機発達の初期においては苗箱に仕切を入れて帯状に育苗し、移植時に端から切断し株を形成させるものが多かった。この場合切断面は2面である。しかし苗箱に仕切を入れる労力が無視できなかった。現在ではそのほとんどが散播育苗を行ない、マット状になったものを植付け時に端から2面を切断もしくははぎ取り株を形成している。この場合切断面は4面である。また一部において1株ずつ分離された状態で育苗された苗を使用する田植機が用いられている。移植時の根の切断が初期生育に影響するとの報告⁴⁻⁶⁾もあり、農家からの報告もあって土付き苗の株形成の方法と初期生育の関係について実験的に明らかにしようとした。また田植機の性能表示の中に植付け角度を取り上げていることが多いため、これについても検討した。なお植付け角度については土付き苗のみならず、根洗い苗についても調査した。

土付き苗は維苗の段階のものを使用した。慣行の内のり58 cm×28 cm×3 cmの苗箱を用い、仕切りのない散播苗、クラフト紙で仕切って散播した帯苗およびプラスチック板で1 cm角に仕切って散播したポット苗を電熱育苗器を用いて同じ条件で育苗した。活着時の温度条件を変えるために、播種時期を変えて第1実験と第2実験を設定した。第1実験は4月25日播種、5月20日^上移植で移植後10日間の平均気温は18.4℃である。第2実験は5月30日播種、6月19日移植で同じく平均気温は22.5℃である。品種はマンリョウで播種量は催芽もみ育苗箱当り250 gである。根洗い苗は京都大学農学部附属農場の慣行法で育苗された中生新千本の45日苗である。

土付き苗の実験配置は次の通りである。(I) 苗の種類；(i) 仕切のないマット状苗を田植機(久保田鉄工製SP型)で1株ずつに分離した苗、(ii) 帯苗を鋭利な刃物で切断することによって分離した苗、(iii) 帯苗を丁寧に1株ずつに手で分離した苗、(IV) ポット苗(第1実験ではポット苗

省略)の4水準。(2) 植付け角度: 第1実験では 0° , 20° , 40° , 60° , 90° で5水準, 第2実験では 0° , 30° , 60° , 90° の4水準である。ここで 0° とは水平を, 90° とは垂直を意味する。

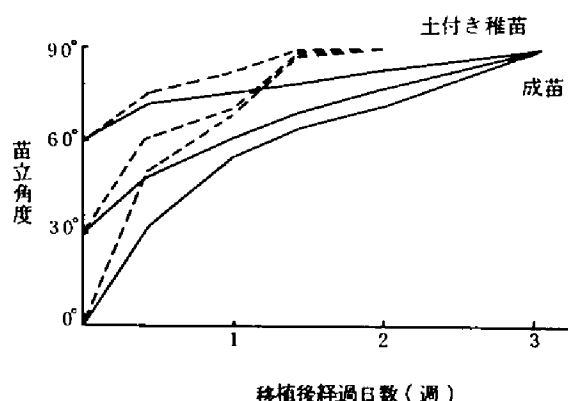
根洗い苗では植付け角度のみ 0° , 30° , 60° , 90° の4水準とした。

実験前に窒素, リン酸, 加里を α 当り500gの割合で施肥した $2\text{m} \times 2\text{m}$ の試験ほに $10 \times 6\text{cm}$ に1株の割合で手移植した。移植後1, 2, 3週間目に抜き取り, 前述の方法で乾物量を求めた。

2) 実験の結果と考察

(a) 植付け角度と初期生育との関係

植付け角度と経時的立ち上り角度について土付き稚苗の平均と根洗い成苗とについて比較すれば第4-4図の通りである。この図によれば成苗が稚苗に比して約1週間遅れている。稚苗では移植後2週間で立ち上り, また成苗では3週間で立ち上り, 植付け角度による差は認められない。成苗の遅れた要因の一つとしては稚苗とは異なり種子胚乳の依存度が完全に消失し根から養分補給

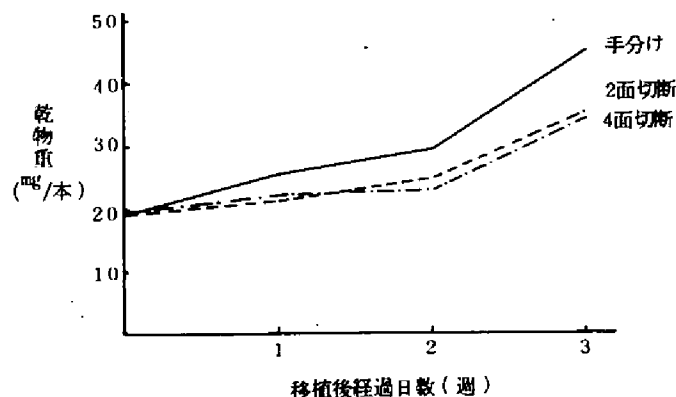


第4-4図 植付け角度と苗の立ち上り

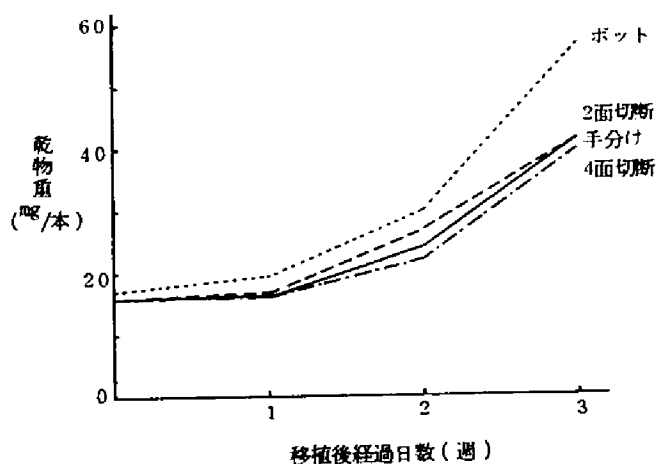
を行なっているためと, 洗浄によって活着能力が弱くなったことが上げられる。また植付け角度と初期生育(乾物量)との間には何ら有意な差は認められなかった。すなわち浮苗などの事項を無視すれば成苗においても稚苗と同様植付け角度は問題とするに当たらないようである。

3) 苗の相違と初期生育

苗別の初期生育を移植後1, 2および3週間目に乾物量でもって表わした結果は第4-5図の通りである。また分散分析の結果を第4-3表と第4-4表に示す。



第4-5 (A) 図 移植後の初期生育(第1実験)



第4-5(B)図 移植後の初期生育 (第2実験)

第4-3表 第1実験の分散分析表

移植後経過日数		1 週 間			2 週 間			3 週 間		
要 因	df	SS	mS	F	SS	mS	F	SS	mS	F
ブロック	2	7.8			8.4			65.2		
苗	2	87.3	43.6	19.66**	244.9	122.5	35.81**	1086.9	543.5	41.77**
植付け角度	4	19.2	4.8	2.16	30.4	7.6	2.23	239.0	59.8	4.59
交互作用	8	47.2	5.9	2.66*	33.7	4.2	1.23	46.7	5.8	
誤 差	28	62.0	2.2		95.8	3.4		364.2	13.0	

** 99 %水準で有意

* 95 %水準で有意

第4-4表 第2実験の分散分析表

移植後経過日数		1 週 間			2 週 間			3 週 間		
要 因	df	SS	mS	F	SS	mS	F	SS	mS	F
ブロック	2	14.6			276.1			679.7		
苗	3	96.3	32.1	20.8**	450.7	150.3		2161.2	720.4	13.10**
植付け角度	3	6.7	2.2		37.9	12.6		159.0	53.0	
交互作用	9	16.6	1.9		83.1	27.7		423.7	47.1	
誤 差	30	46.2	1.5		8012.4	267.1		1650.4	55.0	

これによると第1実験では苗処理の間に1週間目から99%水準で有意差があり、また植付け角度との交互作用が95%水準で認められる。第4-5図から根部の切断された苗がわずかであるが、初期生育の劣ることが示される。第2実験では1週間目と3週間目に苗の処理間に1%水準で有意な差が認められるが、交互作用は認められない。第4-5図から根の切断が行

なわれていないポット苗の初期生育が他に比し良いと判断される。木根淵⁴⁻⁷⁾によれば活着の良否には苗の根の損傷が影響し、断根は活着の安定促進の阻害要因としているが、この実験においてもそれが認められる。第1実験の初期において植付け角度との間に交互作用が認められるが、第1実験と第2実験との主要な差は移植時期が異なり、平均気温4℃の差である。したがって低温時においては根部障害の大きい苗では生育が遅れるほかに、植付け角度も影響し易いことがうかがえる。田植機を利用する立場から考えると、初期生育に関しては根を傷め難いこと、植付け角度との交互作用に多少影響がうかがえること、寒地の場合その影響が表れ易い事が結論として言えるが、この程度の影響ではあまり重視する必要はないと判断する。

4. 本章のまとめ

田植機を使用する場合、田植機による苗処理が移植後の初期生育に及ぼす影響を明らかにしようとして、実験を行ない大略つぎの結果を得た。なお生育量は乾物量をもってした。

- (1) 根洗い苗をピンセットで保持し植付ける場合について、苗をはさむ力と材質の関係を求めた。若苗の場合に苗を保持する際の圧縮力の影響が表れ易く、植付け精度に支障の無い限り保持する力を小さくする事が好ましい。また粘弾性的性質を持つ材質でピンセットを構成することが好ましい。苗をはさむ面の形状はおう面が良い。
- (2) 植付け角度については苗の種別を問わず、浮苗や冠水による影響を考慮しなければあまり重要な項目ではない。
- (3) 土付き苗についてはポット苗のように根部を傷め難い形式のものが移植後の初期生育上良好な結果が得られた。

引用文献

- 4-1) 並河 清, 川村 登, 他; 田植機用苗の障害と初期生育. 農業機械学会関西支部報. No. 27. p. 45. 1970
- 4-2) 田原虎次, 他; 田植機の実用化に関する研究. 新農林社. 1958
- 4-3) TIMOSHENKO, S. P., et al; Theory of Elasticity 3rd. Ed. p.140. McGraw-Hill. 1970
- 4-4) 農事試験場作業技術部; 昭和44年度水田作の機械化に関する試験成績. p.16. 1970
- 4-5) PAO, Y. H.; Extension of the Hertz Theory of Impact to the Viscoelastic Case. J. Appl. Physics. vol.26. p.1083. 1955
- 4-6) 齊藤準二; 水田大型機械化に関する研究. 北海道農業試験場試験成績. 1963
- 4-7) 木根淵旨光; 東北農試研究報告. No. 38. 1969

第5章 リンク型植付け機構の解析⁵⁻¹⁾

1. はじめに

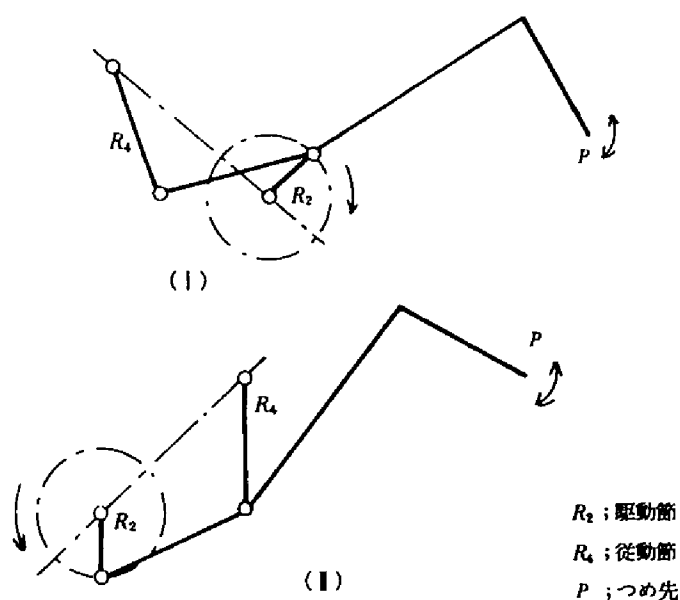
強制植付けを行なう田植機の植付け機構は現状から判断して、回転型と往復運動型とに分けることができる。不等速運動を行なう往復動型においてはその多くが4節機構を用い、4節以上の多節機構のものも見られるが、一定の径路を通過させるために径路途中において、いずれかの節を拘束し、1自由度の平面4節機構としている。4節機構の対偶点における径路、速度および加速度はHrones⁵⁻²⁾、小川⁵⁻³⁾などによって解析的に求められているが、中間点の速度および加速度は解析的に求めると複雑になるため、通常図式解法によって求められている。しかし図式解法では精度が余り高くなく、数多く求める際にはやや煩雑である。近似解法であっても必要とする有効数字の範囲内において正確であれば良く、実際的には各節の長さ、位置関係および駆動節の回転速度を計算機に入力することによって数値解が得られればよい。Hrones⁵⁻²⁾らによって提起された径路から図式的に速度および加速度を求める方法を用いて、電子計算機により高い精度で速度・加速度を求める方法を明らかにし、この結果からリンク型田植機植付けづめの作用について考察した。

2. つめ先端の運動解析

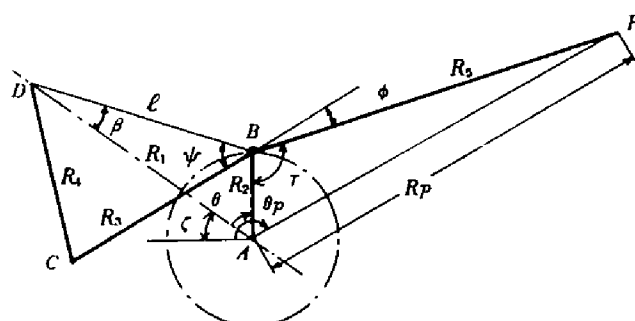
1) 径 路

4節機構は各節の長さの相対的な関係から(1)回転-揺動機構、(2)2重回転機構および(3)2重揺動機構に分類⁵⁻²⁾される。苗の取り出しおよび植付け機構において、4節以上の多節機構を用い、径路途中において異なる節を拘束して、たとえば苗の取り出しとか植付けの作業を行なう場合は、部分的に2重揺動機構を採用する場合もあるが、完全な4節機構では駆動節を回転させて植付けづめを往復運動させる形態のものが基本形となる。また植付けづめの取り付け方によって第5-1図に示すように2通りの方法が考えられるが、田植機として一般に用いられている(I)の場合について考察する。

第5-2図において R_1 、 R_2 、 R_3 および R_4 をそれぞれ固定節、駆動節、中間節および従動節として、節の長さを表わすものとする。 R_5 はB点とつめ先端Pとの距離で、 R_5 と R_3 とは一体とする。ここで極座標を用い R_2 を定角速度 ω_b で回転させた際のP点の位置(θ_p, R_p)を駆動節の回転角 θ の関数として次のように表わすことができる。



第5-1図 4節機構からなる植付け部



第5-2図 植付機構

$$\ell = (R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\theta)^{\frac{1}{2}} \quad (5-1)$$

$$\psi = \cos^{-1} \frac{R_3^2 + \ell^2 - R_4^2}{2R_3\ell} \quad (5-2)$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{R_2 \sin\theta}{\ell} \quad (5-3)$$

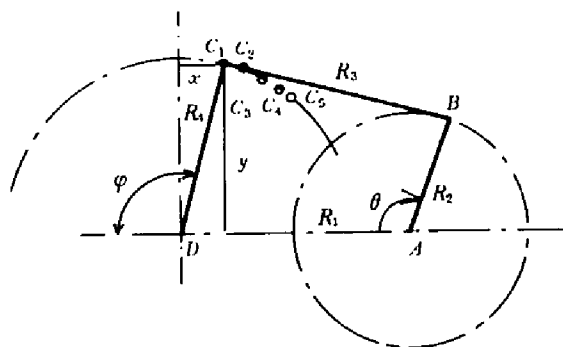
$$\tau = \theta + \beta \pm \psi - \phi \quad (5-4)$$

$$R_p = (R_2^2 + R_5^2 - 2R_2R_5\cos\tau)^{\frac{1}{2}} \quad (5-5)$$

$$\theta_p = \sin^{-1} \frac{R_5 \sin \gamma}{R_p} + \zeta + \theta \quad (5-6)$$

2) 速度および加速度の近似計算

つめ先端の速度および加速度を求めることは4節機構の中間節上の1点の速度・加速度を求めることにほかならない。径路の閉曲線を求める場合についても一般に数値計算を行なうことはむずかしいとされ、⁵⁻¹⁾ 速度・加速度については関式的に求めることが行なわれている。また径路から直接的に速度・加速度を求めることが提起⁵⁻²⁾ されているが、これは駆動節を5°ずつ回転させた時の中間節上の一点の位置を関式的に求め、隣接した点間の距離と方向から速度・加速度を求めているものであり、加速度決定の際の誤差は小さくて10%、大きい所で100%あるいはそれ以上になるとしている。この手法を数値計算によって行なうことにより精度の高い値が得られれば、電子計算機が普及して来ている現状から有効な手段であろう。すなわち4節機構の従動節の対偶(第5-3図, C点)における速度・加速度は解析的に次のように求められているため、^{5-2,3)} これと以下に述べる近似法によって求めた値とを比較し、近似法の可能性と限界について検討した。



第5-3図 4節機構

第5-3図のような4節機構において、 R_1 を固定節、 R_2 を駆動節、 R_3 を中間節、 R_4 を従動節とし、 R_2 が角速度 $\omega_b (d\theta/dt)$ で定速回転する場合、次の関係式が成立する。

$$(R_4 \sin \varphi - R_2 \sin \theta)^2 + \{R_1 - (R_2 \cos \theta - R_4 \cos \varphi)\}^2 = R_3^2 \quad (5-7)$$

この式から

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{R_4 \sin(\theta - \varphi) + R_1 \sin \theta}{R_1 \sin \varphi + R_2 \sin(\theta - \varphi)} \omega \quad (5-8)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = & \frac{R_1 R_2}{R_4} \cdot [\cos(\theta - \varphi)(1 - d\varphi/d\theta)(R_1 \sin \varphi - R_2 \sin \theta) \\ & + \cos \theta \{R_1 \sin \varphi + R_2 \sin(\theta - \varphi)\} - \{R_1 \cos \varphi \sin(\theta - \varphi) \end{aligned}$$

$$+ R_1 \sin \theta \cdot \cos \varphi \} d\varphi/d\theta] \omega_b^2 / \{ R_1 \sin \varphi + R_2 \sin(\theta - \varphi) \}^2 \quad (5-9)$$

近似法は同じく第5-3図において、次のようにして求めるものである。駆動節がある位置から $\Delta\theta$ ずつ回転するときのC点の位置を $C_1 \cdots C_5$ とする。従動節が C_3 にあるときの速度およびその方向は近似的にベクトル $\vec{C_3C_4}$ で求まるが、より正確を期すために $\vec{C_2C_3}$ と $\vec{C_3C_4}$ の平均値を $\vec{S_3}$ として $\vec{v_3} = \vec{S_3}/\Delta t$ で表わす。同様にして加速度の大きさと方向の近似値も $\vec{v_2}$ と $\vec{v_3}$ の差および $\vec{v_3}$ と $\vec{v_4}$ の差の平均値を Δt で除して求まる。

すなわち速度の大きさは x_i, y_i を C_i 点の位置として

$$v_i = [\{ (x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 \}^{1/2} + \{ (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 \}^{1/2}] \omega_b / 2\Delta\theta \quad (5-10)$$

方向は

$$\theta_{v_i} = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + \tan^{-1} \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \quad (5-11)$$

加速度の大きさは

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= v_i \cos \theta_{v_i} \\ v_{yi} &= v_i \sin \theta_{v_i} \end{aligned} \right\} \quad (5-12)$$

として

$$a_i = [\{ (v_{xi} - v_{xi-1})^2 + (v_{yi} - v_{yi-1})^2 \}^{1/2} + \{ (v_{xi+1} - v_{xi})^2 + (v_{yi+1} - v_{yi})^2 \}^{1/2}] \omega_b / 2\Delta\theta \quad (5-13)$$

方向は

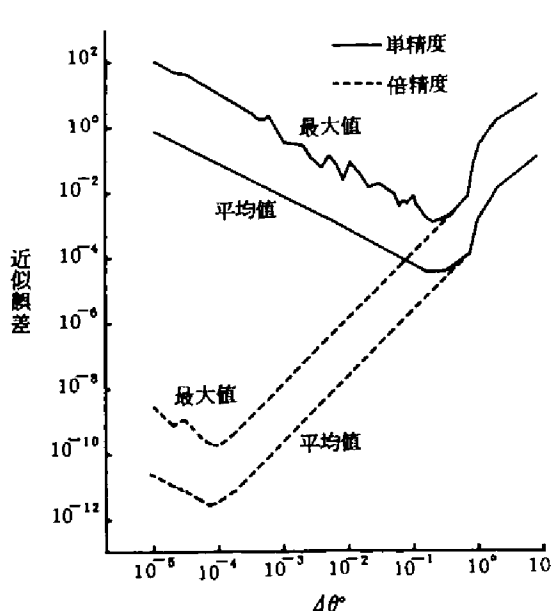
$$\theta_{a_i} = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \frac{v_{yi} - v_{yi-1}}{v_{xi} - v_{xi-1}} + \tan^{-1} \frac{v_{yi+1} - v_{yi}}{v_{xi+1} - v_{xi}} \right) \quad (5-14)$$

速度を v 、加速度を a とし、添字を解析解の場合 t 、近似解のとき a として、その比 R_v および R_a をそれぞれ次のようにして求めた。

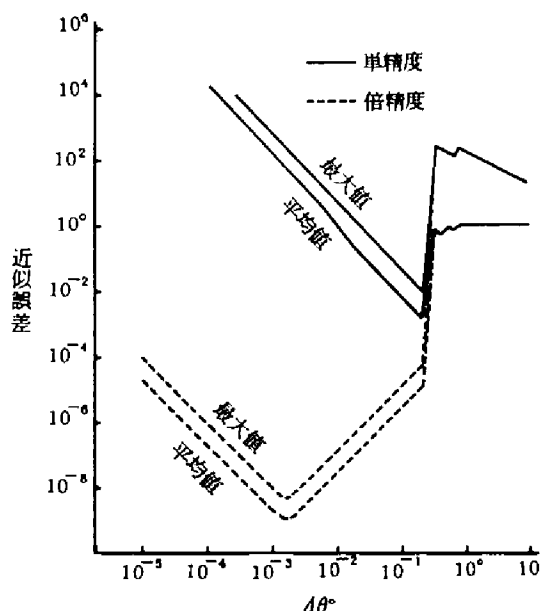
$$R_v = \frac{|v_t - v_a|}{|v_t|} \quad (5-15)$$

$$R_a = \frac{|a_t - a_a|}{|a_t|} \quad (5-16)$$

第5-3図において $R_1=2$, $R_2=1$, $R_3=2$, $R_4=1.5$, $\omega_b=1$ を与えた場合について, $\Delta\theta$ を $1^\circ \times 10^{-5}$ から 8° までとして有効数字のけた数を変えて数値計算を行なった。式の上では $\Delta\theta$ を小さくすれば正確さは向上するが, 実際にはけた落ちの現象があるため, 精度の最も良い条件をは握しようとしたためである。計算は前述の FACOM 230-75 を使用して行なったため, 数値部は単精度で 26bits (10進 7.8 けた) 倍精度で 61bits (18.3 けた) である。計算の結果を第5-4図と第5-5図に示す。この図は θ を 1° おきに計算した場合の R_v と R_a の平均値と最



第5-4図 速度の近似計算における誤差



第5-5図 加速度の近似計算における誤差

大値を示している。速度は単精度で計算を行なうとけた落ちのため $\Delta\theta = 0.2^\circ$ 位で最も精度が良く, R_v の値は最大値でほぼ 10^{-3} (0.1%), 平均値で 3×10^{-5} であるが, 倍精度で計算すれば $\Delta\theta = 1^\circ \times 10^{-4}$ で最も精度が良く, R_v は最大値で 2×10^{-10} , 平均値で 4×10^{-12} と極めて良い精度で計算することができる。加速度は速度差から計算するため, 当然速度の場合に比して精度は悪くなる。単精度の場合は R_a の値は最大値が 10^{-2} ($=1\%$), 平均値が 2×10^{-3} であるが, 倍精度では最大値が 6×10^{-9} , 平均値が 1.3×10^{-9} となり, 倍精度で計算すれば近似法を用いても事実上問題はないと思われる。また加加速度 (Jerk) を求める必要がある場合でも, 精度は加速度の場合に比して悪くなるが, この手法を用うれば数値的に簡単に求めることができる。

3. 計算結果と考察

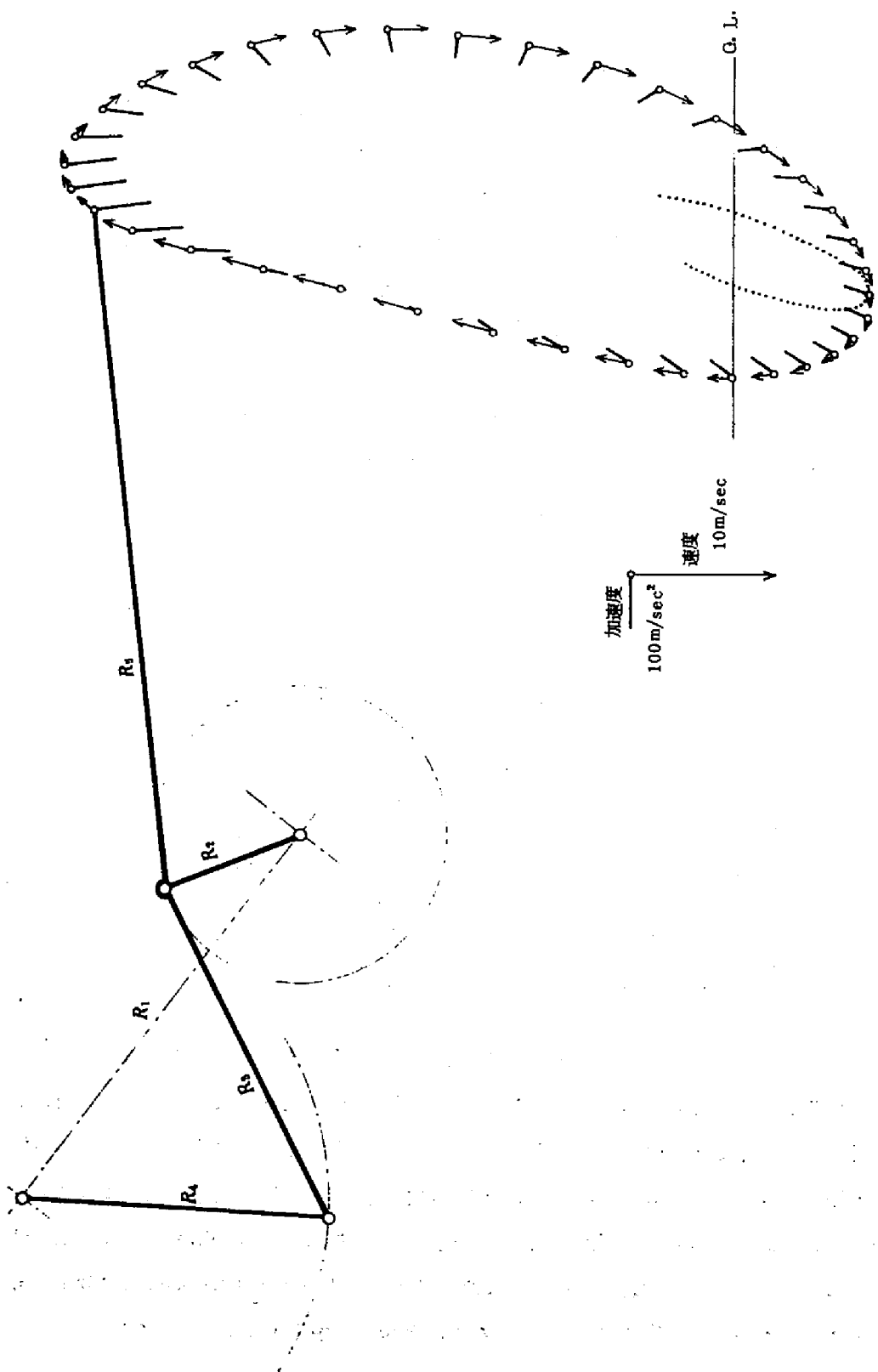
1) 径路、速度および加速度の数値計算例

マット苗を2本のつめで取り出して植え付ける例（A・B機）と帯苗を切断して植え付ける（C機）について第5-1表の条件を与えて、前節の方法で計算した結果を第5-6～8図に示す。駆動節回転角 10° おきのつめ先の位置、速度および加速度である。○印が田植機上の径路であり、水田土壌に対するつめ先端の径路は田植機が前進速度 0.6 m/sec 、株間 15 cm で作業した場合について点線で示した。ここでA機およびC機は前進方向は左から右であるが、B機は逆に右から左であるため、田植機が静止時の径路と田植機が作業中の対土壌径路が異なっている。またAおよびC機はそれぞれつめなどで保持した苗をつめ先を広げることや後方向に土壌に対して苗を押しつけることによって水田土壌と苗との付着力で苗の固定を行なっているが、B機は最下端近くで二股状の植込フォークで下方向に強制的に苗を押し込んでいる。

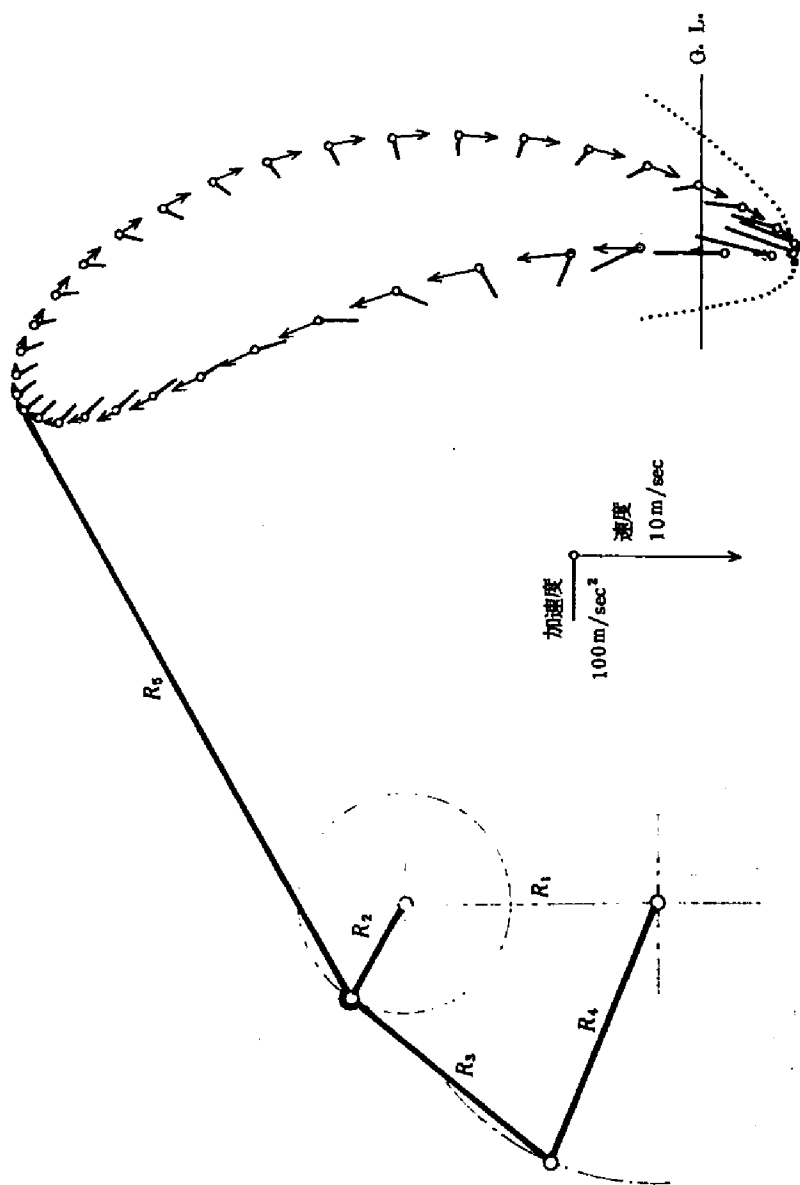
第5-1表 計算条件

項 目	A 機	B 機	C 機
R_1 (mm)	125.0	60.0	55.0
R_2 (mm)	40.0	25.0	30.0
R_3 (mm)	100.0	60.0	50.0
R_4 (mm)	85.0	65.0	40.0
R_5 (mm)	185.0	155.0	170.0
ζ (°)	38.0	-90.0	-20.0
ϕ (°)	20.0	21.0	-2.0
前進速度 (m/sec)	60.0	60.0	60.0
株間 (cm)	15.0	15.0	15.0
ω_b (rad/sec)	8π	8π	8π
$\Delta\theta$ (°)	0.001	0.001	0.001

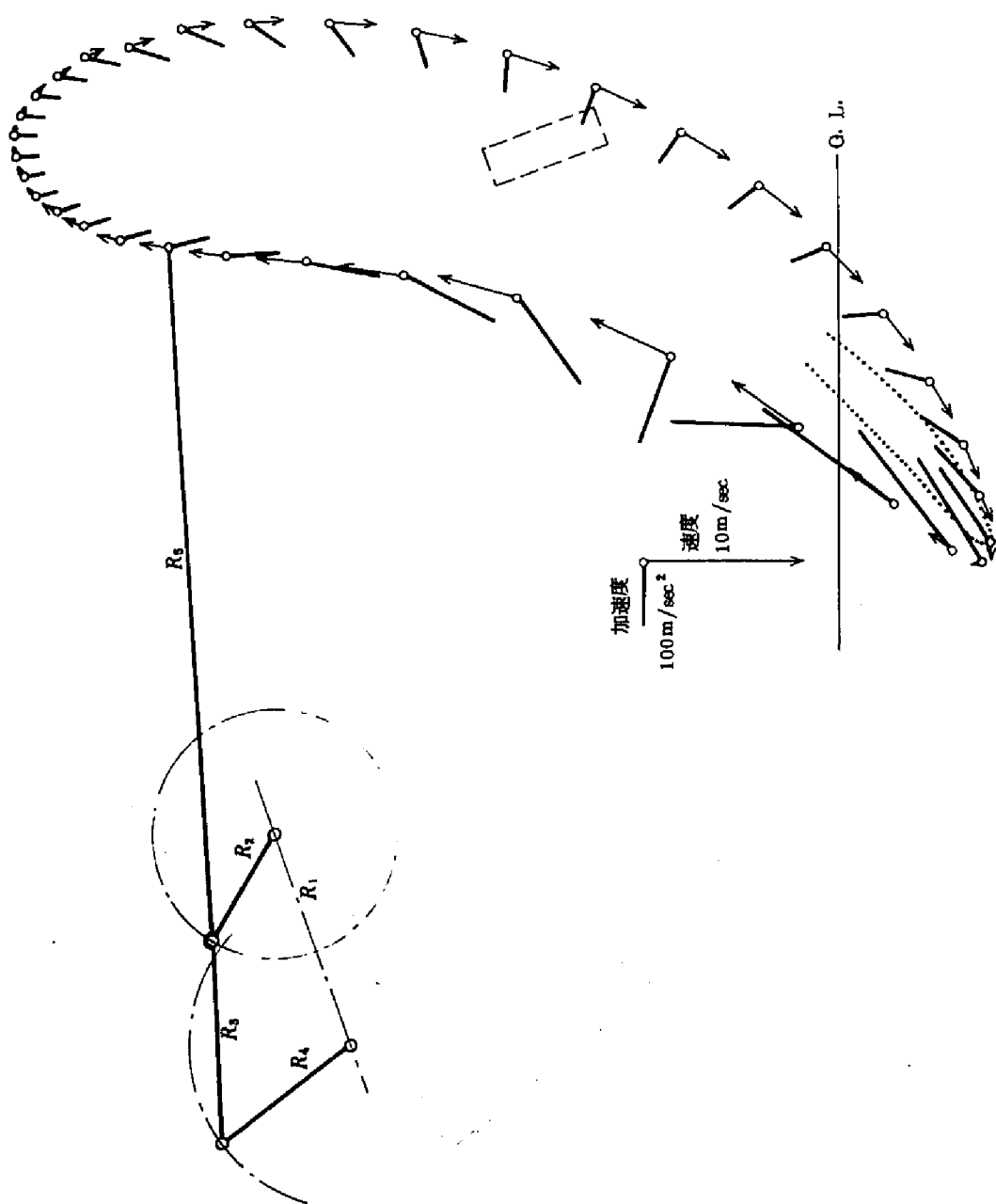
(a) 径路 つめの先端は第5-6～8図の径路をとるが、特に土壌に対する径路についてみればA機とC機では斜前方向から土壌中に進入し、最下端に達した後に未だ乱されていない土壌に苗を押しつけ土壌と苗の附着を促進させた後、苗を放置し前上方へ脱出している。この作用によって苗の土壌に対する固定と、つめが上方向に脱出する時に苗を持上げないようにしていると考えられる。B機の対土壌径路は異なり上述のA・C機における作用はないが、これには前述のように押し込み作用が附随している。A機の場合、つめの径路は水田面位置の線上(G.L.)で 68 mm であるが田植の作業中は 20 mm となり、前後の土壌を余り乱していない。



第5-6図 つめ先端の径路、速度および加速度（A機）



第 5-7 図 つめ先端の径路、速度および加速度 (B 機)



第5-8図 つめ先端の径路、速度および加速度 (C機)

(b) 速度 A機の場合、苗の取り出しの時の速度は約 2.0m/sec で土壌への進入時と脱出時の速度はそれぞれ 2.2m/sec と 2.1m/sec である。B機とC機ではそれぞれ 1.3m/sec, 1.8m/sec, 1.6m/sec および 3.4m/sec, 3.2m/sec, 4.2m/sec となっている。とくにC機は土壌を対象とする作業機としてはその速度がかなり早い類に属する。しかし最下端における速度はA機・C機で約 0.3m/sec, B機では約 0.9m/sec である。

(c) 加速度 A機では土壌への進入時で 50m/sec², 最下端で 48m/sec², 脱出時で 49m/sec² であり, B機とC機ではそれぞれ 43m/sec², 105m/sec², 106m/sec² および 62m/sec², 139m/sec², 240m/sec² である。加速度の方向としては苗の取り出し後土壌に進入するまでは大略駆動軸に向かい, 円運動の向心力に相当する加速度が作用している。土壌に進入するときは上向きに近く, 脱出時は前上方向もしくは上方向である。これをつめに保持されている苗に作用する力からみれば, 切断時には遠心力に相当する力が作用し, 土壌中に進入後は苗を土壌中に下向きに放り出すように, 脱出時には苗を後下向きあるいは下向きに残すような作用が行なわれている。苗のつめによる保持について考えれば, 切断後土壌中に進入するまでの間が重要になるが, 3機とも苗が離脱しようとする方向にはつめの形状によって拘束が与えられている。昭和44年度の農事試験場の試験成績⁵⁻⁵⁾に前進速度と欠株率の関係について調査した結果を報じているが, 本報のA機のごとき構造の植付け機構をもつ田植機では前進速度が速い方が概して欠株率が少ないとしている。原因については即断できないが, 土壌中における加速度が安定して植え付ける方向に作用し, またそれが植付け速度の自乗で大きくなることも要因の一つと思われる。

植付け深さと速度・加速度の関係については極端な浅植えや深植えを除けば大きな差は生じないことがうかがえる。

2) 節長の変更が植付け条件におよぼす影響

電子計算機を用いてリンク機構の解析を行なうことの一つの利点は一度プログラムを作成すれば, たとえばリンク長などの入力条件を変えるだけで径路のみならず速度および加速度も数値的に簡単に求まることである。そのため固定節の長さを固定し, それ以外の節の長さを±2%ずつ±10%まで変化させた時の(i)最下端の位置の変化, (ii)土壌に進入するときの速度, (iii)土壌から脱出するときの速度および(iv)土壌への進入位置と脱出位置間の距離などを求めた。しかし節長を変化させた場合, その機構が駆動節回転, 従動節揺動の条件を満たさなければならないが, これは次式を満足すればよい。⁵⁻²⁾

$$\left. \begin{aligned} R_2 &< MIN(R_1, R_3, R_4) \\ R_3 &< (R_1 + R_4 - R_2) \\ R_3 &> (|R_1 - R_4| + R_2) \end{aligned} \right\} \quad (5-17)$$

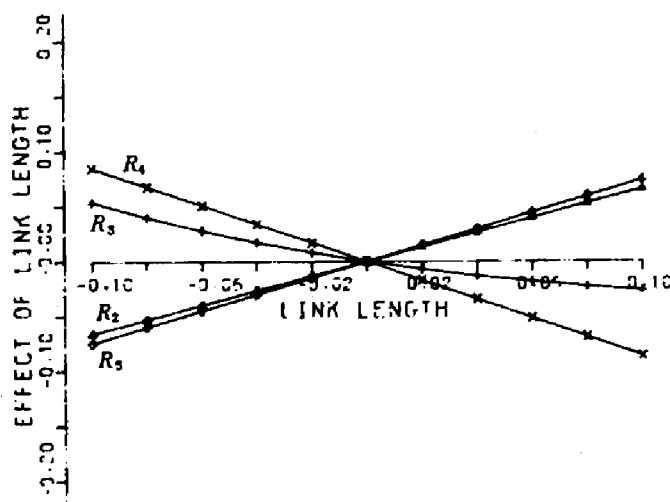
ここでA～C機について1個の節のみ長さを変更する際、その変更可能な範囲を第5-2表に示す。C機の R_3 を除いてすべて $\pm 10\%$ の変更が可能である。

第5-2表 節長の変更可能範囲

単位 mm		
A 機	B 機	C機
$R_2 < 60$	$R_2 < 55$	$R_2 < 35$
$80 < R_3 < 170$	$25 < R_3 < 100$	$45 < R_3 < 65$
$65 < R_4 < 165$	$25 < R_4 < 95$	$35 < R_4 < 75$

第5-9図はA機について $R_2 \sim R_5$ の長さを $\pm 2\%$ ずつ $\pm 10\%$ まで変更した際、つめ先の径路の最下端がどのように変るかを示したものであるが、節長の変更と最下点の位置の変化に直線性が認められる。なお本図は計算結果からXYプロッタで作図したものである。各機について節長を $\pm 10\%$ 変更させた時の前述(i)～(iv)の項目に関する影響を第5-3表に示す。同表の括弧内の数字は -10% 変更した場合である。なお植付け条件は前進速度 0.6m/sec 、株間 15cm で植付け深さは一定である。とくに位置関係において節長の変更の影響は大きく、速度についての影響はより少ないことがうかがえる。

設計に際し、径路や速度を多小変更したい場合、このような図表を作成して修正するのは能率的な方法と思われる。



第5-9図 節長の変更が径路最下端位置に及ぼす影響

第5-3表 節長変更の影響

(単位%/10%変更)

項目	節	A 機	B 機	C 機
最下点の位置	R ₂	6.6 (-6.6)	11.9 (-11.8)	4.7 (-5.1)
	R ₃	-2.7 (5.4)	-17.8 (18.7)	-3.3 (3.0)
	R ₄	-8.6 (8.5)	25.3 (-25.2)	4.1 (-4.8)
	R ₅	7.4 (-7.4)	7.8 (-7.8)	8.4 (-8.4)
土 壌 へ の 進 入 速 度	R ₂	1.6 (-1.9)	7.2 (-6.6)	11.2 (-10.6)
	R ₃	-0.9 (0.5)	-2.6 (4.5)	-7.9 (9.9)
	R ₄	2.6 (-3.2)	0.7 (0.8)	0.3 (0.4)
	R ₅	2.8 (-2.9)	4.6 (-4.7)	6.9 (-7.0)
土 壌 か ら の 脱 出 速 度	R ₂	-1.6 (1.6)	12.4 (-11.0)	19.3 (-15.3)
	R ₃	1.7 (-0.7)	-5.8 (-11.6)	-1.8 (3.7)
	R ₄	-2.5 (2.3)	-1.3* (-6.0)	3.5 (-1.9)
	R ₅	0.2 (-0.1)	4.9 (-5.3)	5.7 (-6.0)
土 壌 へ の 進 入 位 置 と 脱 出 位 置 と の 距 離	R ₂	32.6 (-36.0)	-13.7 (17.2)	46.4 (-46.2)
	R ₃	17.1 (-28.2)	2.5 (-5.7)*	-23.1 (25.7)
	R ₄	2.9 (-8.2)	-9.6* (-11.0)	18.2 (-15.1)
	R ₅	0.3 (-0.6)	-1.5 (1.4)	4.0 (-4.6)

*を付したものは直線性が失なわれている。

4. 本章のまとめ

4節機構によって往復運動を行なう田植機植付けづめの先端の径路解析および速度・加速度を電子計算機を用いて近似的に求め、次の結果を得た。

- (1) つめ先の径路を求めることは4節機構の中間節上の一点の径路を求めることに帰着する。極座標を用い駆動節の原点からの距離と角度を駆動節の回転角の関数として式(5-1)~(5-6)で求めた。
- (2) 4節機構の従動節対偶点の速度・加速度を、駆動節の微小変位に対する従動節対偶点の位置から近似的に求めた。またこの値と解析的に求めた値とを比較したが、単精度の数値計算では速度で0.1%, 加速度で1%程度の精度で求まり、近似法を用いても実質的には問題がないと思われる。
- (3) マット状の土付き苗を植え付ける場合と、帯苗を切断して植え付ける場合の3例について、径路、速度および加速度を前項の手法で計算したが(第5-6~8図)、径路、加速度とも苗を確実に植え付けるのに好ましい多節機構であることを明らかにした。
- (4) 各節の長さを±10%まで変更した場合のつめ先の最下端位置、土壌への進入速度、脱出

速度，土壤への進入位置と脱出位置との距離に及ぼす影響を調査した（第5－9図，第5－3表）。径路に対する影響は大きい，速度に対する影響は比較的小さく，径路の変更などが必要な場合，このような図表を用うことは能率的であろう。

引用文献

- 5－1) 並河 清；リンク式植付けづめの機構解析．農業機械学会誌．投稿中
- 5－2) HRONES, J. A., et al；Analysis of the Four Bar Linkage. Press MIT. 1951
- 5－3) 小川 潔，他；自由度1なる平面リンク機構の加速度解法．日本機械学会論文集．
vol.28. No.196. p.1700. 1962
- 5－4) 小川 潔；機構学．p.55. 朝倉．1967
- 5－5) 農事試験場作業技術部；昭和44年度水田作の機械化に関する試験成績．p.16. 1970

第6章 リンク型植付け機構の総合⁶⁻¹⁾

1. はじめに

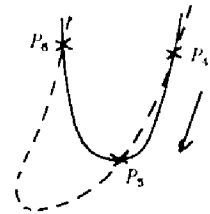
4節機構を用いた往復運動型植付け機構の解析を前章において行なったが、本章においてはその総合法について記載したい。4節機構の設計については種類の総合法があるが、田植機植付け機構の設計に当って現実には多大の時間と労力をかけて試行錯誤の方法を用い、また植付け機構を定めた後に駆動軸の位置や苗台の位置を大きく変更する場合もある。他方機構総合を行なうためには植付けに必要な条件などを明らかにしなければならない。これまで作業能率や植付け精度に関して多くの実験がなされているが、完成機あるいは試作機を用いて行なわれたもので、合理的な設計を行なうために必要な条件は求め難い。ここに植付けに必要な条件を土槽と往復型の植付け装置によって実験的に求め、この結果を参照してこれまで人手によって行なった試行錯誤の手法を電子計算機を用いて行なうことを試みた。またこの手法によって得られた各節の長さをより目的値に近付けるために多変数関数の極値を求める手法を導入した。

2. モンテカルロ法による植付け機構の総合

1) 植付け機構の総合

植付け機構に多節機構の中でもっとも基礎的な4節機構を用いる場合の総合法について検討する。4節機構の総合法については駆動節と従動節との間に関数関係を与えて総合する関数創成法や、駆動節の回転するときの中間節上の追跡点の位置を与えて総合する軌跡創成法などがあるが、田植機の植付け機構では苗を取り出す位置や植付け位置などを与えることが必要なため、軌跡創成法を用うことになる。ここで最も代表的なマット状の土付き苗を植え付ける機構を設計するために、径路上の位置的条件として、(i)苗上部の通過、(ii)根部の切断開始点、(iii)切断終了点、(iv)土壌への進入点、(v)最下点、(vi)土壌から脱出する点があり、しかも径路としてこの順序をとらなければならない。またこのほか(vii)駆動位置の制約、(viii)径路の上部、前後の採り得る範囲、(ix)苗の切断速度なども与えなければならない場合がある。このような条件のもとで機構を総合する方法としてHrones & Nelson⁶⁻²⁾の4節機構図およびこの図の節の相互関係を拡張した図を作成し利用する方法がある。この手法は図上から見出すために視覚に訴え便利であるが、条件の多い場合は系統的に探し出すのがやや面倒であり、しかも与えた条件を満たす機構があるとは限らない。リンク機構をベクトルで表示し、複素数および

線形系の行列理論によって総合を行なう Freudenstein & Sander⁶⁻³⁾の方法や4個または5個の位置を通過する機構を中心点、円周点曲線を用いて総合する Dijksmann⁶⁻⁴⁾の方法、直交座標系に指定された曲線を近似する渡辺⁶⁻⁵⁾の方法などがある。しかしいずれも条件として与えた点は通過するとしても、位置と速度のように異なった次元のものは条件として与え難い。たとえば右図のように土壌への進入点と脱出点および最下点を与え、実線で示す径路を期待したとしても、条件として与え得るのは点の位置のみであるから、たとえば破線で描かれた径路を取る可能性もある。



第6-1図 つめ先の径路

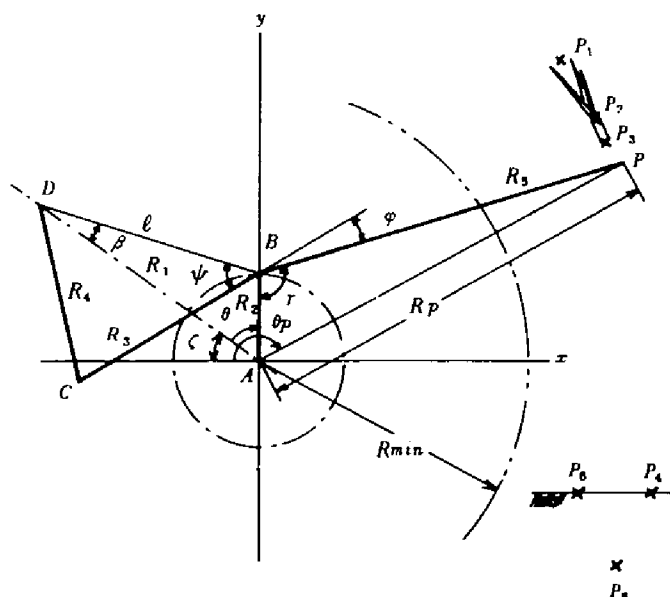
すなわち通過してはいけない点もしくは範囲を与える必要がある場合は適用できない。植付け機構総合の場合は条件として厳正值を与える必要がなく、たとえば苗上部の通過点などは条件の許容幅が大きい。このため無限にある機構の中から条件に合致するものを計算機で探し出す方法を採用した。すなわち各節の長さを変えて径路を計算し条件を満たす機構を探し出す方法である。この場合各節の長さを変更する方法として、たとえば固定節の長さを与え、他の3個の節の長さおよび腕の長さを変えて計算する場合、たとえば各100通り与えれば 10^8 の機構について計算しなければならない。このような場合は各節に対して最大値と最小値を与え、その間に一様乱数を与えて径路を計算し、条件を満たすものを抜き出すようにした方が効率的であると思われる。なお Garret & Hall⁶⁻⁶⁾は関数創成法に乱数を使用している。しかし分散減少法は取り入れていない。モンテカルロ法は乱数を取り扱う手法の総称⁶⁻⁷⁾とも、その中で分散減少法を含む手法に限る⁶⁻⁸⁾とも言われているが、本章では各節の長さに擬似乱数(以後乱数)を与え、最初は条件の許容範囲を大きく与え、計算途中において一様乱数の幅と条件の許容幅をせばめて目的値に近付けて行く方法をとったため、モンテカルロ法による機構総合と仮称しよう。しかしモンテカルロ法で得られる結果は近似解であり、機構総合に対して与えた各通過点の最終許容範囲内を通過するリンク機構が得られるとは限らない。そのため各点の許容範囲を縮小して行って、その許容範囲を通過するリンク機構の発見が困難になった場合、後述する多変数関数の極値を求める手法を応用して近似解を決定することにした。

2) 計算過程

(a) 節の長さは駆動節の駆動軸および従動節の固定軸を田植機上で前もって与える場合を想定した。固定節 R_1 以外の各節 $R_2 \sim R_5$ の長さは次式において Hrones & Nelson⁶⁻²⁾の機構図などを参照して a_i と b_i とを与えて定めた。ここに RN は0.0から1.0の間における一様乱数である。

$$R_i = a_i + b_i \cdot RN \quad (i = 2 \sim 5) \quad (6-1)$$

(b) 機構総合のための条件として第6-2図に示すように R_{min} , 点 D , $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ およびその許容範囲を与えた。また苗を取る時の最低速度 V を与えた。



第6-2図 植付け機構と植付け条件

(c) 最初は駆動節の回転角 θ を 2° 間隔で演算し、条件の許容範囲をせばめると共に θ を縮小することによって演算の能率を高めた。

(d) 乱数によって作られた4節機構が駆動節回転、従動節揺動の条件⁶⁻²⁾を満たすかどうかを前章の式(5-17)で判定し、満たされなければ節の長さを変えた。

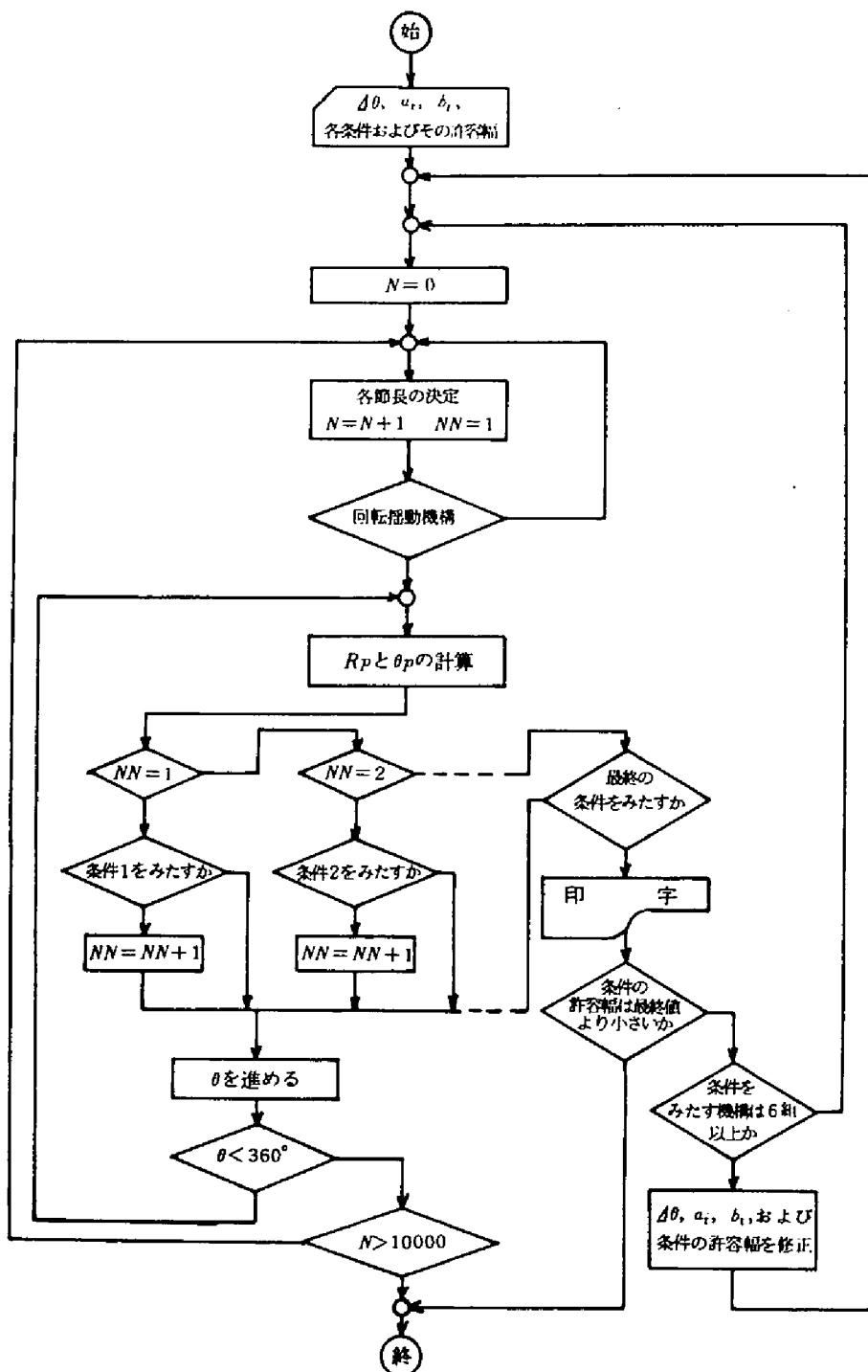
(e) 駆動節の回転角をかえて、前章の解析法⁶⁻⁹⁾の式(5-1)~(5-6)によって植付けづめの先端の位置 θ_p と R_p とを演算し、(a)項の条件を満たすかどうかを判定し、満たさなければ式(6-1)の RN に新たな乱数を与えて演算し、すべての条件を満たした場合印字させた。なお速度 V は見当をつける程度としたため、 $\Delta\theta$ に対する $\Delta\theta_p$ と R_p とによって求めた。

(f) 条件を満たす6組の節が求まった後、求まった節の長さから式(6-1)の a_i を大に b_i を小さくし、また条件の許容範囲および θ の間隔を小さくして、この過程をくり返した。

(g) 通過点の最終的な許容範囲(各点において $\pm 0.5\text{ mm}$)を満足する結果が得られた場合はそれをもって終了しようとしたが、実際には許容範囲に収まるリンク機構は得られなかった。

(h) 通過点のある許容範囲のもとで、1000組以上のリンク機構を発生させても全条件を満たす節長が求まらない場合はそこで演算を中止し、後述する修正法を用いて節長を修正し各節長を決定した。

計算の概要を示す流れ図を第6-3図に示し、またプログラムを付録に示す。



第6-3図 流れ図

3. 節長の修正法

通過点を与える機構総合は機構上のある点の通過位置と目標とする通過位置の距離を最小とする機構を求めることになる。本研究では目標とする通過点を極座標を用いて角度と動径とで与えているため、与えた角に対する目標通過点と実際の通過点との距離の自乗和を最小にするように各節長を修正する問題として取り扱う事にする。与えた角に対する目標通過点の計算は駆動節を 1° ずつ回転させた場合のつめ先端の位置を極座標で表わし、この値からラグランジェの補間法⁶⁻¹⁰⁾によって求めた。機構は4個の節と中間点を示す節の計5個から成り立つため、5次元の場合において極小値を求めることにほかならない。なお4節機構の固定節の長さを固定する場合は4次元の場合において極小値を求めることになる。ここで通過点 P_2 と P_3 は田植機の設計上規定されるため5倍の重みをつけた。

多変数関数における極値の探索法としては能率を高めることおよび誤りを避けるために種種の方法が採用されているが、偽りの極値を避けるために超平面の極値探索法の一つであるこう配探索法⁶⁻¹¹⁾を用うことにする。すなわち超曲面に接する超平面 $p(R_1, \dots, R_5)$ は関数的には次式で表わされる。

$$p(R_1, \dots, R_5) = p_0 + p_1 R_1 + p_2 R_2 + p_3 R_3 + p_4 R_4 + p_5 R_5 \quad (6-2)$$

各節の長さをそれぞれ微小変化させた場合の目標通過点と実際の通過点との距離の重みつき自乗総和を M_i とおけば、これは次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} M_0 &= p_0 + p_1 R_1 + p_2 R_2 + p_3 R_3 + p_4 R_4 + p_5 R_5 \\ M_1 &= p_0 + p_1 (R_1 + \Delta R_1) + p_2 R_2 + p_3 R_3 + p_4 R_4 + p_5 R_5 \\ &\vdots \\ M_5 &= p_0 + p_1 R_1 + p_2 R_2 + p_3 R_3 + p_4 R_4 + p_5 (R_5 + \Delta R_5) \end{aligned}$$

これより $p_0 \dots p_5$ の値は $M_0 \dots M_5$ の値から求めることができる。各節長の微小変化 ΔR_i に基づく平面 p の縦座標の変化は次式で表わされる。

$$\Delta p = \frac{\partial p}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial p}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial p}{\partial R_3} \Delta R_3 + \frac{\partial p}{\partial R_4} \Delta R_4 + \frac{\partial p}{\partial R_5} \Delta R_5$$

それぞれの方向における接平面のこう配($p_i = (M_i - M_0) / \Delta R_i$)を用うればこの式は次式で表わされる。

$$\Delta p = p_1 \Delta R_1 + p_2 \Delta R_2 + p_3 \Delta R_3 + p_4 \Delta R_4 + p_5 \Delta R_5$$

また点 $(R_i, i=1\sim 5)$ から点 $(R_i + \Delta R_i, i=1\sim 5)$ へ引いた超曲線の勾配は

$$S = \frac{\Delta p}{\Delta R_1^2 + \Delta R_2^2 + \Delta R_3^2 + \Delta R_4^2 + \Delta R_5^2} \quad (6-3)$$

でこの勾配を最大たらしめるための条件は

$$\frac{\partial S}{\partial \Delta R_i} = 0 \quad (i=1\sim 5)$$

が満たされることである。

これから進みの成分 $\overline{\Delta R_i} (i=2\sim 5)$ は $\overline{\Delta R_1}$ を与え次式によって求めることができる。

$$\overline{\Delta R_i} = \frac{p_i}{p_1} \overline{\Delta R_1} \quad (i=2\sim 5) \quad (6-4)$$

ここで p_i を求めなければならないが、 $\Delta R_i (i=1\sim 5)$ を R_i に対して $\pm 0.25\%$ および $\pm 0.5\%$ として M_i の値を求め、この ΔR_i と M_i の関係を最小自乗法によって 2 次式に近似し、 M_i が最小値となる ΔR_i の絶対値が R_i の 0.5% を越えておれば ΔR_i を 0.5% または -0.5% とし、また M_i が最小値となる ΔR_i が R_i の $\pm 0.5\%$ 以内の範囲であれば、 M_i が最小値となる ΔR_i をもってすることとした。このようにして演算を繰り返し、 $R_1 \sim R_5$ の各辺の長さの変化量が 0.05mm 以下になれば、その時の $R_1 \sim R_5$ の値を最終値とした。

4. 植付け実験

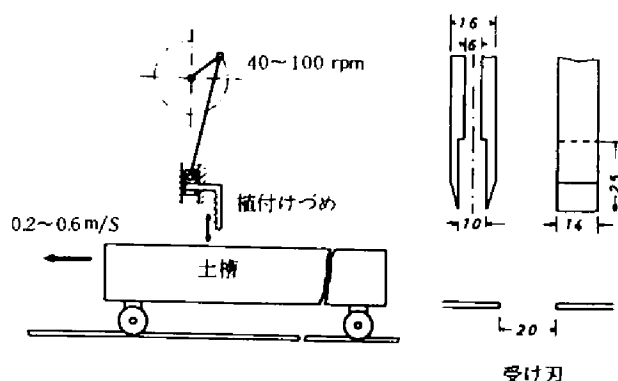
苗の切断および植付けにとって必要な条件を求めるために植付け実験を行なった。田植機の作業精度に関する実験は各地の農業試験場などにおいて行なわれているが、その報告はいずれも実験機や完成機によって性能のは握、利用法の確立および拡張などを目的としている。しかし新しく植付け機構を開発するためには不明な点が多い。そのため苗の取り出し速度、土壌中における径路と前進速度の植付け精度に及ぼす影響などについてマット状の土付き稚苗を用いて実験的に求めようとした。

1) 実験装置

本実験に用いた実験装置は大きく分けて移動土槽、植付け機構および苗台よりなるがその大

略は次の通りである。

(a) 移動型土槽 レール上を走行する台車に $220 \times 210 \times 1600$ mm の土槽を固定した。土槽には4 mm 目のふるいを通した水田土壌（砂壤土）を入れて代かきし、土壌は深さ16 cmに、水は地表0～1 cmに保った。代かき土壌の硬さは一般にさげ振り法や平板法によって表示されているが、土壌の深さが16 cmでしかも全体をこね返している



第6-4図 実験装置概要

ために平板法を用いた。大きさ $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ で重さ4 kgの平板を地表面に置き、沈下量を求めたが約12 mmであった。台車はスプロケットとチェーンを介し、変速モータ(2.2 KW)でけん引走行させた。なお実験範囲は走行速度で $0.2 \sim 0.6 \text{ m/sec}$ とした。

(b) 植付け機構 植付けづめはクランク・ピストン機構で上下の直線運動を行なうようにした。クランクの回転数は40～200 rpmとした。土壌中への進入速度はクランク・ピストン機構であるため、つめの土壌中への進入深さによって変り、クランク長を165 mm、連接棒を400 mmとしたため、クランク回転数200 rpm、植付け深さ25 mmの場合で約 2.0 m/sec である。なおつめ先の形状は第6-4図の通りである。

(c) 苗台 苗台は植付け機構と連動して横移動を行なう。苗の切断に際し、苗の横送りを停止させることなく連続的に動く構造で、クランク1回転当りの横方向への移動量は11 mmである。苗の横送りが連続的であるため、厳密には苗を斜めに切断することになるが、苗床の厚さ25 mmを切断する間の横移動量は約0.3 mmであって、実験上支障は認められなかった。

2) 植付け精度の表示法

植付け精度の定量的表示法については、角度を3段階に分け、そのおのおのの全体に対する比率を求める方法が行なわれているが、直立しているものの中に欠株がある場合と、欠株はないが総べて傾斜している場合と、どちらを良とすべきかについて基準がない。そのため第4章において各種の土付き苗について、植付け時の姿勢と移植後の初期生育量(乾物量)を調査したが、その結果2週間で水平に植付けた苗も立ち上り、植付け時の姿勢と3週間目の乾物量との間には有意な差が認められず、浮苗などを無視すれば植付け時の姿勢を問題とするに足りない⁶⁻¹²⁾ことを指摘した。しかし数日間冠水すると分けつが阻害されて黄化萎縮病等の発生が懸念される⁶⁻¹³⁾とされているので、実際の立場から冠水や浮苗などを考慮して植付け姿勢別に

評点を定め、その評点で植付けの良否を判定した。評点は便宜上、植付け姿勢 $90 \sim 60^\circ$ を 10 点、 $60 \sim 30^\circ$ を 8 点、 $30 \sim 0^\circ$ を 5 点、倒伏を 2 点、欠株を 0 点として各実験条件のもとで連続 10 株の精度を調査した。

実験はつめ先の土中への最大深さを 3 通り、土槽の移動速度を 3 通り、クランク回転数を 4 通りにそれぞれ変えて行なった。

3) 実験結果

苗の取り出しはその速さが 0.6 m/sec 以下では不安定であった。植付け精度は第 6-1 表の

第 6-1 表 植付け精度

進入深 mm	土槽速度 m/sec	クランク回転数 rpm					
		40	60	80	100	150	200
7	0.2	×	●	●	●		
	0.4	×	△	△	△		
	0.6	×	×	×	●		
17	0.2	○	○	○	○	○	○
	0.4	×	●	○	○	○	●
	0.6	×	×	×	△	△	●
32	0.2	△	△	○	●		
	0.4	×	×	●	○		
	0.6	×	×	×	△		

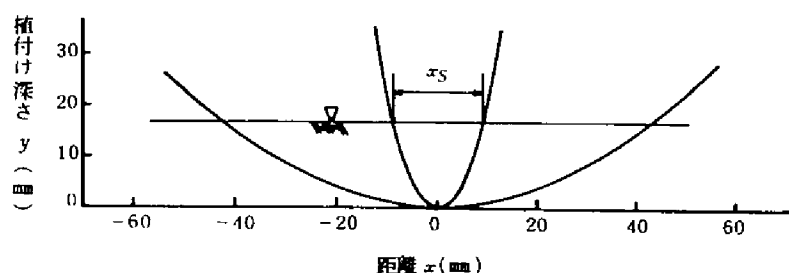
○ 100 点～90 点 ● 89 点～75 点 △ 74 点～50 点
× 49 点以下

通りである。一般的な傾向として土槽の前進速度に比してつめ先の上下運動の速度が遅い場合は苗が堀り出されて倒伏したような状態を示した。また植付け深さが浅いと植付け精度の評点にむらが多く、深い場合は所定の深さ以上に深くなる傾向がみられた。土中におけるつめ先の径路はつめ先の最大深さを d 、クランクの角速度を ω 、クランクの長さを ℓ_c 、連接棒の長さを ℓ_r 、土槽の前進速度を v とすれば次式で表わされる。

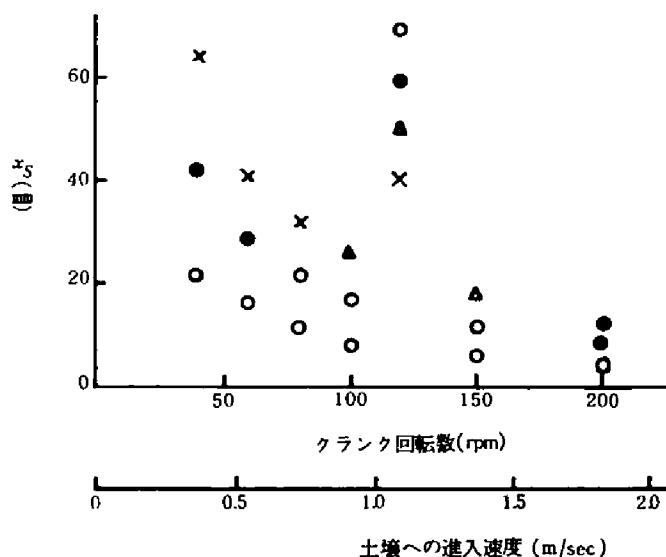
$$\left. \begin{aligned} x &= vt \\ y &= \ell_c (1 - \cos \omega t) + \frac{\ell_c}{2\ell_r} \sin^2 \omega t \end{aligned} \right\} \quad (6-5)$$

土壌中の径路を第 6-5 図に示す。

$y = 17 \text{ mm}$ の場合の x の値 x_s を求め、植付け精度を植付け速さと x_s の関係で示すと第 6-6 図の通りである。この図から植付け精度は x_s の値と植付け速度の両者の影響を受けるように推察される。同じクランク回転数に対しては x_s の値が小さいほど精度がよく、同じ植付け精



第6-5図 植付け実験におけるつめ先の径路



第6-6図 径路と植付け精度

度を保つためにはクランク回転数の増大に伴ない x_s の値を小さくする必要があることを示している。すなわち土壌中におけるつめの前後方向の運動を小さくすることが必要である。なおこの実験は植付け機構がピストンとクランクから成り立ち、土中における径路が対称形で、一般の田植機とはつめ先の径路が異なっていることを付記する。

5. 数値計算例

単純な4節機構からなる植付け機構を想定し、5個の例について第6-2表に示す条件を与えて、前述のモンテカルロ法で機構の総合を行ない、その結果から各節の長さを固定節の座標を固定した場合と固定節の長さの修正をふくむ場合について、多変数関数極小化の手法を用いて修正した。

第6-2表 機構総合の条件

条 件		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
P_{\min} (mm)		200	100	200	150	150
P_1 (mm)	x	275	175	260	—	—
	y	80	80	120	—	—
P_2 (mm)	x	290	190	290	95	75
	y	50	50	70	200	200
P_3 (mm)	x	300	200	300	120	100
	y	30	30	30	200	200
P_4 (mm)	x	270	170	270	220	200
	y	-100	-100	-100	-100	-110
P_5 (mm)	x	230	130	230	200	180
	y	-130	-130	-140	-140	-150
P_6 (mm)	x	210	110	210	200	180
	y	-100	-100	-100	-100	-110
苗取り出し最低速度 (m/sec)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
固定節と従動節との 対偶点の位置 (mm)	x	-70.71	-70.71	-70.71	0	0
	y	70.71	70.71	70.71	-60.0	-60.0

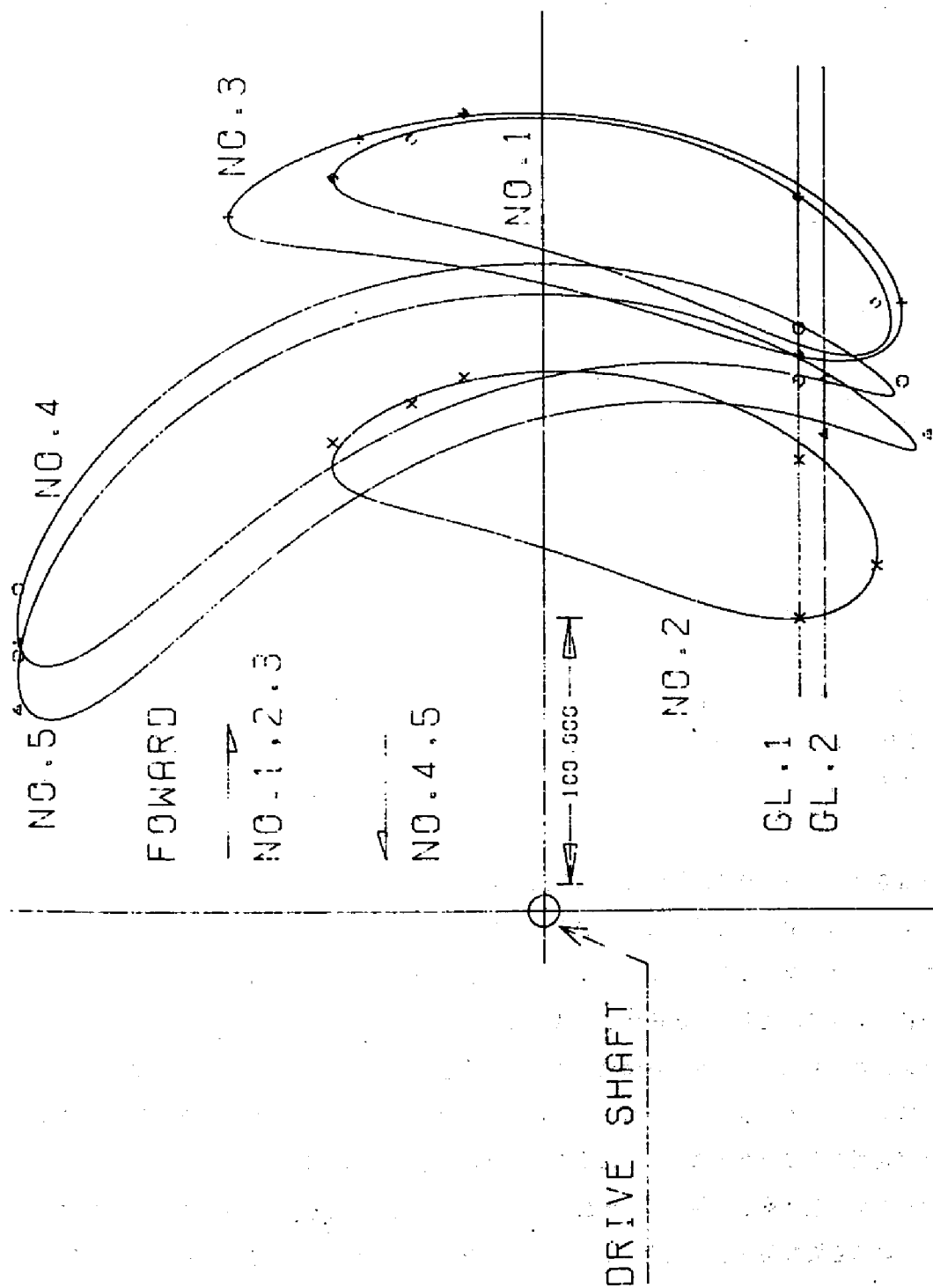
第6-2図参照

計算の際は直角座標で与えた点を極座標に変更した。

ここでNo. 1の例を先ず設定した。機体の前進方向は第6-7図において矢印の方向であり、No. 2は与えた点がNo. 1よりもx方向にすべて100mm短かくしたもので、またNo. 3はNo. 1よりやや大きい苗を植え付ける場合を想定している。No. 4およびNo. 5はNo. 1~3に対して田植機の前進方向が逆で、また横たわった苗を取り出して植え付ける事を想定している。田面の位置は図中に示しているが、No. 1~No. 4についてはG.L. 1, No. 5についてはG.L. 2である。

節長の多変数関数極小化の手法による修正の際は通過点の位置のみを与えているため、最下点で多少条件からはずれている場合も生じた。その結果、固定節の長さの修正を認めた場合の各節の長さおよび与えた角に対する通過目標点と実際の通過点との差は第6-3表の通りである。この場合のつめ先の創成線および通過目標点の位置は第6-7図の通りである。なおこの図はXYプロッタ(カルコンプ・モデル770/763)で演算結果を作図したものである。ここに例示した5個の場合については多小のずれも認められるが、かなり目標値に近い結果が得られたとみなされる。一般に通過点のみを与えた機構総合の例と比較すると精度は悪いようであるが、これは例えば最下点など単純な点を与える場合と異なっているためであろう。

このように通過目標点のみならず、速度や通過非許容領域などを与える必要がある場合、乱



第6-7図 通過目標と総合された植付機構のつめ先端径路

第6-3表 総合の結果

(単位 mm)

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
節 長	R_1	101.3487	99.9994	100.2345	60.0003	59.9966
	R_2	31.9350	37.5300	36.4008	32.2233	30.6092
	R_3	125.4826	90.6536	109.0962	46.1449	48.3776
	R_4	76.6739	58.1401	74.3417	62.3228	63.8264
	R_5	266.9700	166.5794	264.2660	199.6741	212.9381
偏 差	ΔP_1^*	-0.6265	3.7022	-0.3343	—	—
	ΔP_2	2.6190	1.6910	0.6715	-0.0504	-0.2031
	ΔP_3	-3.0860	-1.6750	-0.9440	-1.5343	1.7113
	ΔP_4	0.3521	5.4318	4.0720	1.8985	1.1538
	ΔP_5	5.9494	-0.7671	-0.7069	-6.1603	-6.8455
	ΔP_6	3.5684	-0.4594	-0.8711	4.4088	1.9876

* ΔP_i は点 P_i を極座標 (θ_i , r_i) で表わした時の θ_i 上のつめ先の通過点と P_i との距離の差を示す。負はつめ先の通過点が原点に近い事を示す。

数を用いて計算機で試行錯誤によって総合を行なうことの可能性、および多変数関数極小化の手法を機構総合に適用することの可能性が明らかとなった。

6. 本章のまとめ

4節機構を用いた田植機の植付け機構を合理的に設計しようとして、解析的手法を総合へ応用する手法を明らかにし、その際条件として与えるべき基準を実験的に求め、大略次の結果を得た。

- (1) 田植機植付けつめの径路解析を各節の長さに乱数を与えることによって繰り返して行ない、与えた条件を満たすものを探し出す手法を明らかにし、モンテカルロ法による機構総合と仮称することにした。なおこの手法によれば通過すべき点のみならず、通過非許容領域や位置と速度の両者のように、従来の機構総合法では与えにくい条件を与えることができる。
- (2) モンテカルロ法で得られた各節長をより条件に近付けるために、節長を多変数関数極小化の手法によって修正できることを明らかにした。またこの手法を使用すれば位置条件の厳しい点(許容範囲の小さい点)に対しては重みをつけることが可能である。
- (3) マット状の散播稚苗、移動型土槽およびクランク・ピストン機構を用いて良好な植付けを行なうために必要な条件を実験的に求めようとした。その結果土壌中におけるつめの前後方向の運動を小さくすることが必要で、またつめ先の速度が早い場合特に顕著であることを明らかにした。

(4) 5 個の例について上述の手法で数値計算を行ない，かなりの精度で機構総合の行なえることを明らかにした。

引用文献

- 6-1) 並河 清；リンク型植付け機構の総合．農業機械学会誌．投稿中
- 6-2) HRONES, J. A., et al; Analysis of the Four Bar Linkage. Press MIT. 1962
- 6-3) FREUDENSTEIN, F., et al; Synthesis of Path Generating Mechanisms by Means of Programmed Digital Computer. Trans. ASME. vol.81. Series B. p.159. 1959
- 6-4) DIJKSMANN, E. A.; Coordination of Coupler Point Positions and Crank Rotations in Connection with Roberts Configuration. Trans. ASME. Series B. vol.91. p.55. 1969
- 6-5) 渡辺克己；平面 4 棒機構による曲線創成．日本機械学会論文集． vol.40. No.337. p.2683. 1974
- 6-6) GARRET, R. E., et al; Optimal Synthesis of Randomly Generated Linkages. Trans. ASME. vol.90. Series B. p.475. 1968
- 6-7) 津田孝夫；モンテカルロ法とシミュレーション． p.1. 培風館．1969
- 6-8) 三根 久；オペレーションズ・リサーチ(下)． p.52. 朝倉．1966
- 6-9) 並河 清；リンク型植付けづめの機構解析．農業機械学会誌．投稿中
- 6-10) 富士通；FACOM 230-60 SSL 使用法解説書． p.237. 1972
- 6-11) MISCHKE, C. R.; An Introduction to Computer-Aided Design. p.94. Prentice-Hall. 1968
- 6-12) 並河 清, 川村 登, 他；田植機用苗の障害と初期生育．農業機械学会関西支部報． No.27. p.45. 1970
- 6-13) 農林省農政局；昭和 44. 2. 24 付 44 農政 680 号通牒． 1969

第7章 回転型植付けづめの形状⁷⁻¹⁾

1. はじめに

田植作業の高能率化のためには関連作業も要因となるが、本機のみについては作業幅と作業速度との積を増大しなければならない。作業幅の拡大では1964年頃北海道農業試験場⁷⁻²⁾で12条乗用田植機が開発されて実地試験が行なわれたが、旋回を含めて走行性に問題が認められた。作業速度の向上については現在の1回転に1回植え付けるリンク機構ではたとえば前進速度1.2m/secで株間15cmとすれば毎分450回転を必要とし、また不等速運転であるために動的な面でも不利になる。その点回転型では1回転で数株植え付けられ、しかも等速回転型であれば機械運動が円滑であるなどの利点を持つ。1回転に複数回の植付けを行なう方法としては固定づめ回転型、平行リンク型、カム型、ベルト型などが考えられる。本章では固定づめの形状について田村座標⁷⁻³⁾などを用いて求めた結果と在来づめの特性について論述する。

2. 植付けづめの形状曲線創成

1) 植付けづめの形状曲線創成に際して与える条件

回転型植付け機構ではつめの運動軌跡はトロコイド曲線であるが、そのつめ形状を最適にするため、植付け作業の立場からつめの形状に必要な条件を設定し、この条件を満たす曲線を創成する方法をとった。つめの作用を分析すると、たとえば帯状の土付き苗を1株ずつに切断し、植え付ける方式では次の4相に分けることができる。

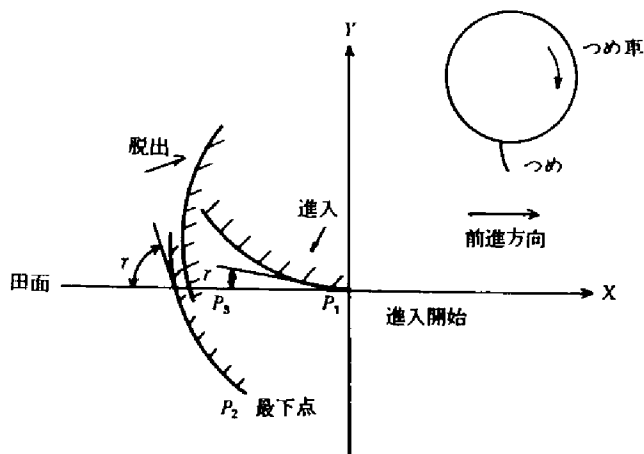
- (i) 苗の切断
- (ii) 苗の切断位置から土壌表面までの搬送
- (iii) 土壌中へ進入し、植付け所定位置への苗の移送
- (iv) 植付け所定位置からの脱出

これらの作用については次の条件を満たせばよい。

- (i) 切断 力の急激な変化がなく、苗を円滑に切断した根部を傷めにくいこと。
- (ii) 土壌表面までの搬送 つめに付着保持された苗が遠心力、重力などによって脱落しないこと。
- (iii) 植付け所定位置への苗の移行 第7-1図においてつめ車は回転しながら田植機が前進し、つめの先端は $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ の順に移行するものとする。苗をつめと根部土壌との付着に

より保持したつめは P_1 点において土壌中に進入し、最下点 P_2 まで苗を土壌中に押しつけながら土壌による苗の保持を確実にし、しかも苗の姿勢を整えるために、つめ先端が P_2 に達するまで角 τ がつめ車の回転に伴って増大すること。すなわち時間を t で表わせば

$$\left. \begin{array}{l} dX/dt < 0 \\ d\tau/dt > 0 \end{array} \right\} \quad (7-1)$$



第7-1図 つめ形状曲線の創成に際して与える条件

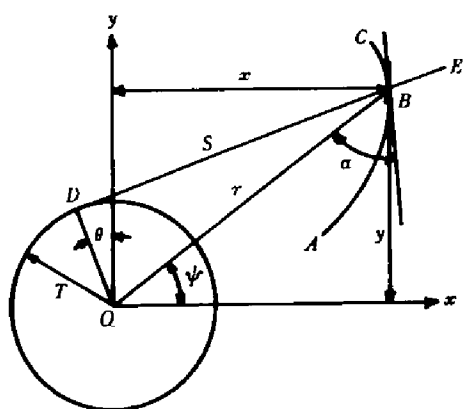
を満足すれば良い。

(IV) 脱出 P_2 に達したつめは苗を土壌に残して、苗に触れることなく角 τ を増大させながら上方もしくは右上方脱出すること、すなわち

$$\left. \begin{array}{l} d\tau/dt \geq 0 \\ dX/dt \geq 0 \end{array} \right\} \quad (7-2)$$

曲線を表示するのに種々の座標系が用いられるが、ここでは設計上も実用性の高い田村座標⁷⁻³⁾を用うれば容易に条件を満たす曲線を求めることができる。

この座標系は飼料細断機の刃の形状を求めるために案出されたものであって、第7-2図にその座標系を示す。すなわち半径 T なる基円を書きその接線 \overline{DB} の長さ S および角 θ をもって点 B を定め、曲線 ABC の方程式を S と θ との関係によって表わすものである。一般に用いられる直角座標、極座標ならびに接線極座標と田村座標との変換は図から明らかにように次式によって行なうことができる。



第7-2図 座 標 系

(i) 直角座標 (x, y) への変換

$$\left. \begin{array}{l} x = S \cos \theta - T \sin \theta \\ y = S \sin \theta + T \cos \theta \end{array} \right\} \quad (7-3)$$

(ii) 極座標 (r, ψ) への変換

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{S^2 + T^2} \\ \psi &= \theta + \cot^{-1} \frac{S}{T} \end{aligned} \right\} \quad (7-4)$$

(iii) 接線極座標 (r, α) への変換

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{S^2 + T^2} \\ \tan \alpha &= \left(S + \frac{T^2}{S} \right) \frac{d\theta}{dS} - \frac{T}{S} \end{aligned} \right\} \quad (7-5)$$

2) つめ形状曲線の創成

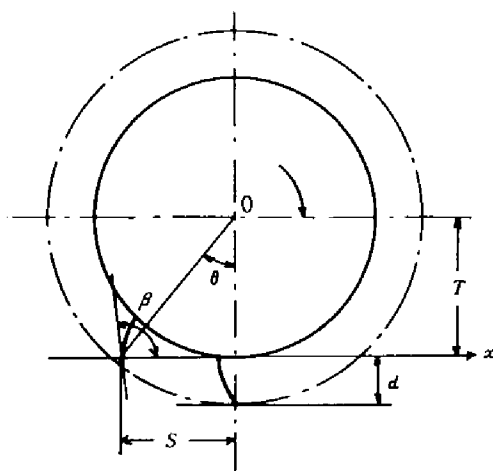
第7-3図のごときつめ形状を想定し、つめ車の中心から田面までの距離を基円半径 T 、植付け深さを d とし、田村座標によりつめ形状を S と θ によって表わす。この座標において座標系が v の速度で x 軸方向に右方向へ移動するものとする。前節(4)の脱出の条件を満足するつめ形状の曲線を求め、これが切断、搬送および移行の条件を満足するかどうかについて検討する。

(a) 脱出条件を満たすつめの形状

(i) 第7-1図において $dX/dt \geq 0$ であるから前進速度を v として、第7-3図において次式が成立すればよい。

$$\frac{dS}{dt} \geq v \quad (7-6)$$

つめの軌跡はトロコイドをなしているが、その底線を田面にとり、転曲線である円の半径を T とする。転曲線の周速度は角速度を ω として $T\omega$ となるが、たとえばこれを理論的前進速度 v に等しく取るものとしよう。この関係からつめの半径、つめ車の速度および前進速度の相互関係が求まる。接地輪駆動で走行輪からつめ車の回転動力を取る形式の場合はスリップ0%の時に $T\omega = v$ であれば、実際の作業中には接地駆動輪の単位回転数に対する走行距離が延びるために $T\omega < v$ となるが、動力で走行車輪とつめ車を回転させる場合は進行低下率を考慮して式(7-6)が成り立たなければならない。



第7-3図 つめ曲線(1)

(ii) $dr/dt > 0$ の条件を満たすつめの形状を求めなければならないが、直接 r をもって演算を進めるよりは $\beta = \pi - r$ とし β をもって取り扱った方が便利であるため β を用いる。田村座標において田面に対するつめの角度 β と S との間には接線極座標から導くと次の関係がある。

$$\cot \beta = \frac{1}{S} \frac{dS}{d\theta} - \frac{T}{S} \quad (7-7)$$

前項(i)の条件のもとにおいて $d\beta/dS \leq 0$ の条件を満たせばよい。 $dS/d\theta$ を S の関数として $f(S)$ とすれば、

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dS} &= \frac{d}{dS} \cot^{-1} \frac{1}{S} \{f(S) - T\} \\ &= \frac{f(S) - Sf'(S) - T}{S^2 + \{f(S) - T\}^2} \end{aligned} \quad (7-8)$$

式(7-8)の分母は正であるから

$$f(S) - Sf'(S) - T \leq 0 \quad (7-9)$$

であればよい。つめ車は等速回転であり、 α が T に比べて小さいことから、簡単のために特別な場合として $f'(S) = 0$ すなわち $dS/d\theta = k = \text{const.}$ の場合を取り扱うことにしよう。その結果 $dS/d\theta \leq T$ であれば式(7-9)を満足する。つめの曲率半径 ρ は直角座標から導かれて式(7-10)で示される。⁷⁻³⁾

$$\rho = \frac{\{S^2 - (k - T)^2\}^{\frac{3}{2}}}{S^2 + (k - T)(2k - T)} \quad (7-10)$$

この曲線は縮閉線が半径 k の円に無限に近づくひとつのうず巻曲線であり、また $k = T$ の場合には $\rho = S$ となってインボリュート曲線である。植付けの条件によって植付け深さの調節を必要とし、またほ場の条件によってはその変動も考慮しておかなければならない。縮閉線が半径 k に近づくうず巻曲線であるため、 $T_0 < T$ とし半径 T_0 を縮閉線とするインボリュート曲線をつめの形状曲線として与えることにする。 $T = T_0 + k$ として、縮閉線である円の中心と田面の距離が T である場合、 S が距離 $0 \sim T_0$ の間における $dS/d\theta$ の最小値と最大値の差は数値計算の結果 $k = 0.1 T_0$ の場合で約 6% である。

(b) 植付け所定位置までの移行

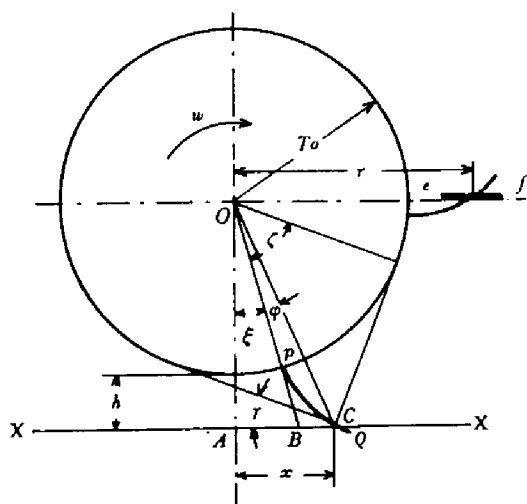
前項(a)において設定したインボリュート曲線が植付け所定位置まで移行する場合に必要な条件を満たさなければならない。

(1) 第7-4図においてXXを田面、基円の半径を T_0 、基円の中心から田面までの距離を OA 、インボリュート曲線を PCQ とする。

$OA = T_0 + h$ ($h \geq 0$)。式(7-1)から $dx/dt < 0$ 、すなわちつめ先が最下端に来た時に dx/dt が v に等しいか僅か小さく、また dx/dt が減少関数であれば良い。ある任意の点 C を定め dx/dt を求めよう。この時 $d\xi/dt$

は一定であるから、 $dx/d\xi$ を求めることとする。

$r = OC$ として図より $r^2 = (T_0 + h)^2 + x^2$ 、インボリュート曲線においては図の ϕ と δ の間には次のようにレボルベンス関数が定義⁷⁻⁴⁾されている。



第7-4図 つめ曲線(2)

$$\text{rev } \phi = \delta - \tan^{-1} \delta \quad (7-11)$$

この関数を用うれば r は次式で示される。

$$r = g(\phi) = T_0 \sqrt{1 + (\text{rev}^{-1} \phi)^2} \quad (7-12)$$

したがって

$$x = \sqrt{g(\phi)^2 - (T_0 + h)^2} \quad (7-13)$$

$$\xi = \sin^{-1} \sqrt{1 - \frac{(T_0 + h)^2}{g(\phi)^2}} - \phi \quad (7-14)$$

式(7-13)、(7-14)から

$$\frac{dx}{d\xi} = \frac{g(\phi)^2 g'(\phi)}{(T_0 + h) g'(\phi) - x g(\phi)} \quad (7-15)$$

ここに

$$g'(\phi) = \frac{g(\phi)}{\text{rev}^{-1} \phi} \quad (7-16)$$

すなわち

$$\frac{dx}{d\xi} = \frac{g(\phi)^2}{T_0 + h - x \text{ rev}^{-1} \phi} \quad (7-17)$$

式(7-17)において分子は正であり、 ξ は回転に伴ない減少するから次式がなり立てば良い。

$$T_0 + h - x \text{ rev}^{-1} \phi \geq 0 \quad (7-18)$$

式(7-18)より x の値を求めれば $x \leq T_0$ である。すなわち $x \leq T_0$ の範囲をとるインボリュート曲線であれば良いから、つめの高さ T_h はピタゴラスの定理と $h \geq 0$ の条件から

$$\begin{aligned} d \leq T_h &\leq \sqrt{2T_0^2 + 2T_0h + h^2} - T_0 \\ &= \frac{(T_0 - d)^2}{2d} \end{aligned} \quad (7-19)$$

の範囲でなければならない。

(ii) r が回転に伴ない増加することについて。第7-4図においてインボリュート曲線 PCQ の C 点における法線が CD であるから、接線は OD に平行になり次式が成り立つ。

$$r = \frac{\pi}{2} - (\xi + \delta) \quad (7-20)$$

ここで ξ の減少に伴ない r が増加すればよい。すなわち

$$\begin{aligned} \frac{dr}{d\xi} &= -1 - \frac{d\delta}{d\xi} \\ &= - \left[1 + \frac{x \{ 1 + (\text{rev}^{-1} \phi)^2 \}}{(T_0 + h - x \text{ rev}^{-1} \phi) \text{ rev}^{-1} \phi} \right] \end{aligned} \quad (7-21)$$

式(7-18)の条件から式(7-21)は負となり ξ の減少にともない r は増大し、条件を満たす。

(c) 円滑な切断 第7-4図においてたとえばつめ車の中心を通して田面に平行な位置にある苗 ef を切断するものとしよう。この時つめ車の回転に伴なってつめが線 ef 上を移動する速度は $dr/d\phi$ で示される。 ϕ と r の関係は $T_0 = 1$ とすれば第7-5図の通りである。 $T_0 = T - h$ で、 ϕ の小さい所では切断を行なわないため実際に切断を行なう領域においては ϕ と r は近似的に一次の関係であり、円滑に切断が行なわれると考えられる。

(d) 搬送中におけるつめによる根部の保持 田植機の高効率化を目的として、つめの形状を

求めた。つめ車を早い速度で回転させた時に土付き苗の根部を切断してから植付ける間に遠心力などによって苗がつめから離脱しないことが必要である。そのため土付き根部と金属との相互関係およびつめに土付き根部が付着しているためのつめ車の限界速度を求めた。

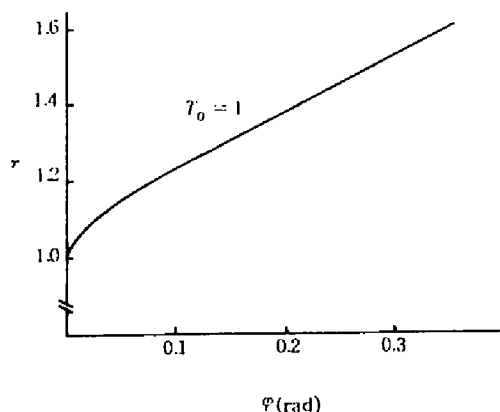
(i) 土付き根部と金属板との関係 供試苗について。実験のために苗箱は慣行として土付き育苗苗に用いられているものに比して $1/4$ の大きさ ($28 \times 13 \times 3 \text{ cm}$) の木製のものをを用い、 1 cm 幅で

クラフト紙で仕切を入れた。土壌は 1 箱当り 600 g の乾燥させたシルト質ロームを用い、肥料として 1 箱当り硫安 1.5 g 、過リン酸石灰 4 g および塩化カリ 1 g を施肥した。種もみは比重選を行なった中生新千本で 0.11 t/箱 とした。育苗は慣行に従って電熱育苗器で行ない、かん水は 1 日 1 回とし、20 日経過し草丈が 14 cm になった苗を実験に用いた。根と土壌を含めて水分は 75% であった。乾物量は带状苗 10 cm について、水で良く洗浄した後 130°C で 3 時間乾燥させて求めたが、6 個の平均値は 0.82 g であった。実験によって土付き苗根部(土壌部分)と金属板との摩擦力ならびに土付き苗根部と金属面との付着力を求めたが、ここに記載した育苗法は前者の場合であり、後者の場合はこれに準じた。

土付き苗根部と金属板の摩擦について。内のり $4 \times 4 \text{ cm}$ の金属枠を黄銅板上に置き、枠内に苗のもみから上を切断した土付き根部を丁寧に一定方向に敷き詰め、その上から荷重を加えて、金属枠を電気抵抗歪計式の力量計を介して手で徐々に引張った。引張り強度は電磁オシログラフに記録させて読み取った。垂直荷重は 250 g 、 1130 g 、 2135 g および 3171 g の 4 通りとした。また苗の方向によって摩擦係数が異なることをも考慮して、苗の金属枠内への詰め方を 90° 変えた場合についても実験を行なった。その結果垂直荷重と引張り強度との間には、ばらつきもほとんどなく直線的な関係が見られた。摩擦力 F_f は垂直荷重を P 、定数を K_1 および K_2 として次式で示された。

$$F_f = K_1 + PK_2 \quad (7-22)$$

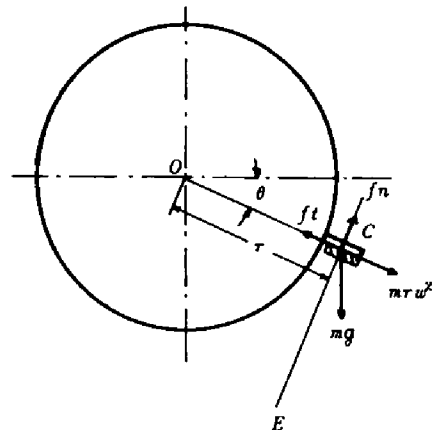
この定数の値は方向によって多少ことなり、 $K_1 = 240 \text{ g}$ 、 $K_2 = 0.390$ と $K_1 = 242 \text{ g}$ 、 $K_2 = 0.367$ とであった。両者の値から $K_1 = 2.4 \times 10^2$ 、 $K_2 = 3.8 \times 10^{-1}$ として以後の計算を行なうこととした。



第 7-5 図 ϕ と r の関係

土付き苗根部の金属面に対する付着力について。土と金属板との付着力は土と金属板を一定時間圧着した後、これを引き離す力によって示されている。一般には付着面積 20 cm^2 、圧着強度 4 kg/cm^2 、圧着時間 $30 \sim 60$ 分を標準とし、⁷⁻⁵⁾ また圧着強度の相違によって引き離す力が異なるとされている。⁷⁻⁶⁾ 実際に田植機における付着力の見当をつけるためには圧着強度と圧着時間の与え方について検討を必要とする。苗帯のせん断に要する力は 3.10 kg/cm^2 と報告され、⁷⁻⁷⁾ また苗帯の切断面積を 3 cm^2 とすれば、土付き苗根部が変形しやすいものとして全圧着力と全せん断力を等しくとればよい。しかしたとえば第7-4図においては切断が e から f に進行するように、切断の進行を考慮して圧着強度を 1 kg/cm^2 とした。圧着時間はやや長いが実験のしやすさを考慮して2秒間とした。実験の方法と結果は次の通りである。

実験は直径 12 cm の容器に土付き苗のもみから上を切断した根部を敷き詰め、その上に $5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$ の黄銅板を置き、さらにその上に 25 kg の重りを2秒間乗せ、重りを取除くと共に直ちにばねばかりを介して黄銅板を上方に引き離した。用いたばねばかりは最大の値を指示するようにした。試料10点について求めた結果 $79 \pm 9.2 \text{ g/cm}^2$ であった。参考のために鋭利な切断刃で苗を切断することを想定して、圧着強度を 20 g/cm^2 とした場合についても同様に試料10点について求めたが、 $4.84 \pm 0.4 \text{ g/cm}^2$ であった。大略 80 g および 5 g として以後の計算を行なうこととした。



第7-6図 苗に作用する力

(ii) つめ車の限界速度 直線づめを用いてつめに付着している苗が回転によって離脱しないための条件について検討しよう。第7-6図においてC点において付着しているものとし、OC方向とCE方向に力を分解する。C点において作用する力は遠心力 mrw^2 、重力 mg 、付着力 fn および摩擦力 fl である。摩擦力については荷重0すなわち式(7-22)の K_1 を与える。苗がつめに付着しているための条件はそれぞれの方向について次式が成り立てばよい。

$$\text{OC 方向} \quad fl - mrw^2 - mg \sin \theta > 0 \quad (7-23)$$

$$\text{CE 方向} \quad fn - mg \cos \theta > 0 \quad (7-24)$$

苗を切断保持してから植付ける間について考察しているため θ の範囲は $0 < \theta < \pi/2$ とする。式(7-23)において限界角速度は $\theta = \pi/2$ の時最小で次式により求まる。

$$\omega = \sqrt{\frac{fl}{m\tau} - \frac{g}{\tau}} \quad (7-25)$$

苗の根部の大きさ $1 \times 1 \times 3$ (cm³)、苗全体の重さ $4g$ 、 $r = 0.2$ m、 K_f の値が面積に比例するとして $fl = 45g$ を代入すると

$$\omega = 22.68 \text{ rad/sec } (\approx 216 \text{ rpm})$$

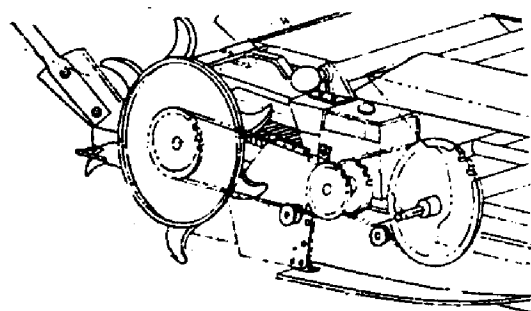
となる。これは作業速度に換算すれば、株間 15 cm、つめ数 6 とした場合 3.2 m/sec となる。

CE 方向については式 (7-24) から $\theta = 0$ において最も離脱しやすいが、この場合苗の重量 $4g$ に対して $3 \times 80 = 240g$ の力で付着し、たとえ付着力を $5g/\text{cm}^2$ としても問題とならない。

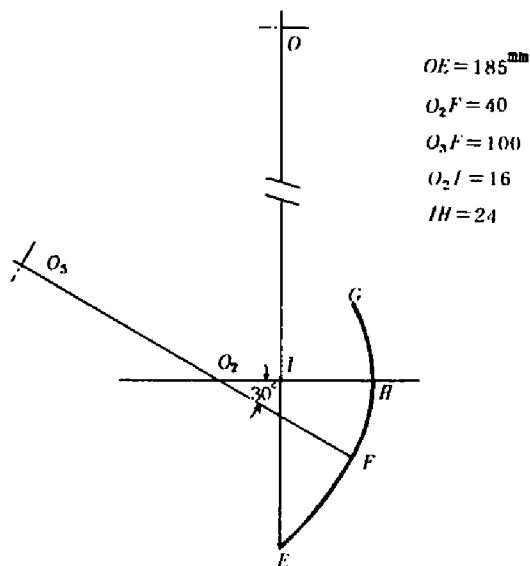
3. 在来づめの解析

1) つめ形状

稚苗用田植機もしくは苗まき機として早くから世に問われたものの中にこの形式がある。このつめの形状と運動について調査と解析を行なった。調査機は手押の接地輪駆動型 (カンリュウ農研号 TM1-4 号) で、つめ車の概要を第 7-7 図に示す。車輪は小型水田車輪でラグ内径 372 mm、ラグ外径 485 mm で平均値は 428 mm である。動力はスプロケットとチェーンで車輪からつめ車に伝達される。接地車輪 1 回転に対してつめ車は $15/8$ 回転行なう。つめ車には 6 個のつめが取付けられ、その形状は調査の結果第 7-8 図のごとく 2 個の円弧から成り立っているとみなされる。計算上の植付間隔は車輪の外径を用いた場合は 135.4 mm であるが、実際にはたとえば $3.6 \sim 18\%$ 伸びている。⁷⁻⁹⁾



第 7-7 図 つめ車⁷⁻⁸⁾



第 7-8 図 在来づめの形状

進行距離の10%の伸びを考慮した場合、トロコイド曲線の底線はつめ車の半径142.8mmの田面に水平な接線となり、つめ先端の外径から42mm内側になる。

2) 在来つめの解析

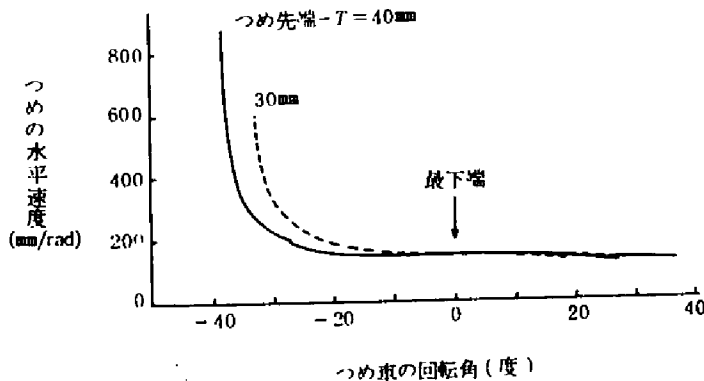
中心が (p, q) にある半径 R の円は直角座標では $(x-p)^2 + (y-q)^2 = R^2$ で表わされるが、田村座標に変換すれば式(7-3)を用いて

$$\begin{aligned} R^2 &= (S \cos \theta - T \sin \theta - p)^2 + (S \sin \theta + T \cos \theta - q)^2 \\ &= S^2 - 2S(p \cos \theta + q \sin \theta) + T^2 + 2T(p \sin \theta - q \cos \theta) \\ &\quad + p^2 + q^2 \end{aligned} \quad (7-26)$$

水平方向の速度はつめ車が等速回転を行なうから $dS/d\theta$ で表わされる。すなわち

$$\frac{dS}{d\theta} = \frac{-T(q \sin \theta + p \cos \theta) - S(p \sin \theta - q \cos \theta)}{(S - p \cos \theta - q \sin \theta)} \quad (7-27)$$

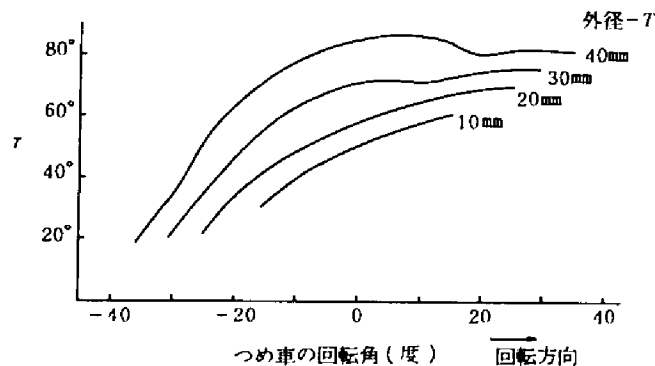
つめの最下端から40mmおよび30mmの深さにおける位置の水平方向の速度をつめ車の回転角 θ との関連において計算した結果を第7-9図に示す。この図において左側の線端を示す条件のもとで土壌に入り、右線端を示す条件のもとで土壌から脱出することを示している。つめの水平方向の速度は土壌中に進入する時に最も大きく、10度位で急速に減少する。走行車輪の1回転当りの進行距離が外径を基準にして求めた値よりも10%伸びるとして、田植機の前進速度とつめの水平方向の速度を比較すると、つめが最下端に来た場合よりも深さが40mmの場合で11°、30mmの場合で8°後方に進んでから等しくなり、その後ごくわずかつめが前に逃げている。



第7-9図 つめの水平方向の速度

土壌となす角 γ (第7-1図)について。つめの先端が最下端にあるときを基準にして、そ

の地点より10mm, 20mm, 30mmおよび40mm上の水平軸に関する r の値をつめ車の回転角において5°おきに求めてグラフ化したものを第7-10図に示す。たとえば40mmの位置の場合、-30°と20°とにおいて線がややいびつになっているが、これはつめの形状が2個の円弧から成り立っているため、その境界において生じている。 r は土壌中に進入するときもっとも小さく、つめ車の回転と共に急激に増大し、40mmの位置の場合を除き、増加しながら脱出している。



第7-10図 在系つめにおける r の値

以上のことから回転式植付けづめを持つ田植機として世に問われたこの型式のものは、当初に仮定した植付け条件を水平速度、対土壌角度とも満たしていることが分る。

4. 本章のまとめ

田植機の高効率化をはかるために、帯状の苗を切断して植付ける回転型植付けづめの形状について研究を行ない次の結果を得た。

- (1) 植付けづめの形状創成のために、つめの作用を(i)帯状苗の切断、(ii)切断した苗の土壌表面までの搬送、(iii)土壌中に進入し植付け所定位置までの移行、(iv)植付け所定位置からの脱出に分け、それぞれ(i)力の急激な変化がなく円滑に切断すること、(ii)遠心力および重力などのために苗がつめから離脱しないこと、(iii)第7-1図において $dX/dt < 0$, $dr/dt > 0$, (iv) $dX/dt \geq 0$, $dr/dt \geq 0$ の条件が必要であるとした。
- (2) これらの条件を満たすつめの形状を田村座標などを用いて求めた結果、インボリュート曲線はこれらの条件を満たし、またつめの高さ T_h については、植付深さを d 、インボリュート曲線の縮閉線の直径を T_0 、つめ車の中心からつめ先端までの距離を $T_0 + d + h$ として式(7-17)の範囲であればよいことを指摘した。
- (3) 土付き根部と金属板との摩擦力および付着力を実験的に求め、つめ車が高速回転した際に

遠心力などによって、つめに付着した苗が離脱する限界作業速度はつめ車の外径を 0.4 m、つめ数を 6 として 3.2 m/sec となることを推定した。

(4) 回転型固定つめを持った在来の田植機のつめ形状を調査した結果、2 個の円弧から成り前述(1)の条件を満たしていることを明らかにした。

引用文献

- 7-1) 並河 清；田植機の回転型植付つめの形状。農業機械学会誌。 vol.36. p.353. 1973⁴
- 7-2) 北海道農業試験場農業物理部；昭和 39 年度試験成績。1965
- 7-3) 田村 豊；飼料截断機の刃の曲線として用い得る五種の基本渦巻曲線および二種の応用曲線に関する研究。農業土木研究。 vol.7. p.261. 1935
- 7-4) 堀内義和；一般インボリュート歯車の設計法(1) 機械の研究。 vol.20. p.1250. 1968
- 7-5) 土壤物理測定法委員会編；土壤物理性測定法。 p.382. 養賢堂。1972
- 7-6) 中村総七郎；土の物理力学的試験法。 p.50. 土木雑誌社。1956
- 7-7) 須藤 允、他；帯苗の引張り、曲げ、せん断強さについて。農業機械学会誌。 vol.30. p.83. 1968
- 7-8) 機械化農業；昭和 42 年 2 月号。 p.24. 1967
- 7-9) 富山県農業試験場；昭和 43 年度農業機械試験成績書。 p.83. 1969

第8章 連続欠株検出警報装置⁸⁻¹⁾

1. はじめに

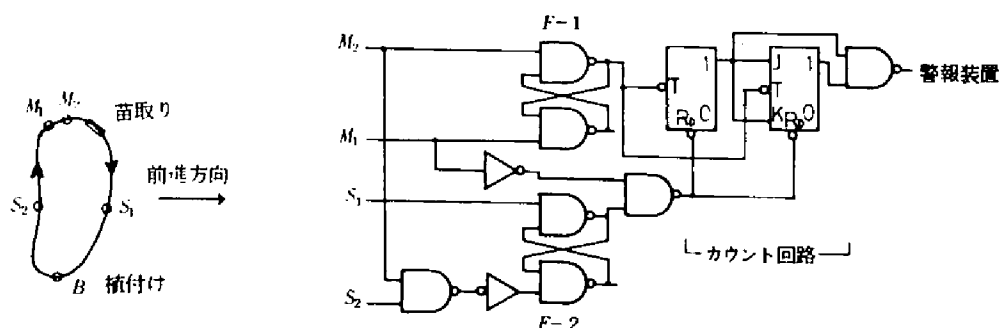
田植機の高性能化をはかるとき、将来においては遠隔操作による無人化も考えられるが、現状においては多条化・高速化が一つの方向であり、他のほ場用作業機械の発展過程から類推すれば乗用化の方向を取るものと考えられる。この場合、作業機部、接地走行部および操縦席の相対位置の関係には多くの組合せが考えられるが、操だなどと植付け状況の監視を操縦者の視覚のみに頼るのは、とくに連続作業において人間工学の点から好ましい事とは言えない。そのため収量に影響のある連続欠株⁸⁻²⁾を生じた場合、その情報を操縦者に視覚以外の方法で知らせる装置を開発する必要があると考えられる。ここに開発しようとする連続欠株検出警報装置は苗の検出機構と計数回路を含む論理回路とに大別でき、このほか連続欠株の信号を音響へ変換する機能を含むものである。また連続欠株の信号で予備の植付け機構を動作させることも考えられる。

農業機械の自動化のための検出と操作については Zabellitz の総括的研究⁸⁻³⁾ などがあり、特に成育中の植物体存在の検出については Hesse らによる間引や追従装置のための検出法に関する研究⁸⁻⁴⁾ 電気容量による検出法⁸⁻⁵⁾ 堀尾・川村による連続欠株検出のための噴流利用の方法⁸⁻⁶⁾ などがある。本研究においては検出後電子式論理回路を動作させるために、簡単に電気的な2値信号に変換可能な検出装置について研究を行なった。論理回路としては純流体素子を利用する方法⁸⁻⁶⁾ もあるが、圧縮空気供給装置の重量が大きく、軽量であることを必要とする田植機の場合は不適當であると考ええる。電子的論理回路であれば電気の消費量も小さく軽量であり、実用化の可能性が大きいと考えられる。論理回路の構成が重要となるため、論理回路と警報装置、検出機構、全体構成の順に論述したい。

2. 論理回路と警報装置

1) 苗の検出位置と論理構成

(a) 論理回路(1) 植付け用つめの植付け動作の前後において苗を保持しているか否かを検出し、論理演算を行なう方法である。原理は第8-1図において、A点で苗取り動作を、B点で植付け動作を行なうものとする。ここで苗の有無の検出を S_1 と S_2 とにおいて行なう。 S_1 点で苗を検出しなければ欠株、 S_1 点で苗を検出した場合、もし S_2 点においても苗が検出されれば、こ



第8-1図 論理回路(I)

これは植え付けずにそのまま持ち上げて来た事になるので欠株と判断し、 S_2 点において検出されなければ植え付けられたものと判断する。この場合の真理値表を第8-1表に示す。ここで S_1 、 S_2 欄の1は苗を検出したことを意味し、 Q は判定の結果で植え付けられたとき1である。

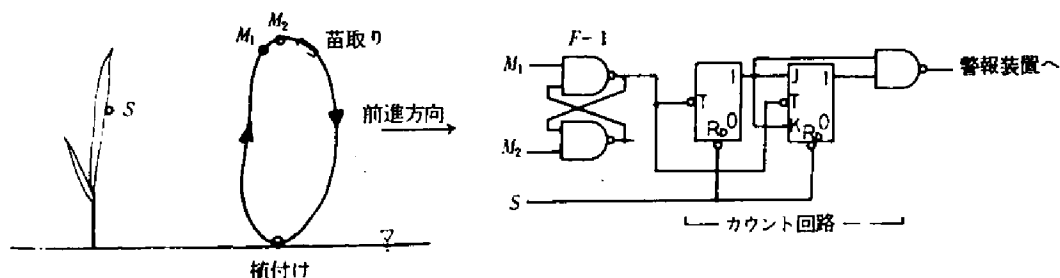
第8-1表
真理値表

S_1	S_2	Q
1	1	0
1	0	1
0	1	0
0	0	0

連続欠株である場合にのみ信号を必要とするため、2進化4進回路³⁻⁷⁾を使用する。ここで論理回路はすべて集積回路(IC)を使用すること

とした。論理回路を同じく第8-1図に示す。この回路は欠株が直ちに判断できることや全装置を田植機植付装置の一部として取付けられることの利点を持つが、植付けづめが植付け前に苗を保持し、植付け後に保持していなかったとしても、必ずしも正しく植え付けられているとは限らないことや、植付けづめの径路によっては植付け前後の適当な位置に検出のためのセンサーを置くことができない場合が多いなどの欠点を持つ。この論理回路についてはその動作の論理的正しさを電子回路を製作して確かめたが、検出部を取付ける空間が得られず、使用するに至らなかった。

(b) 論理回路(II) 実際に植え付けられた苗を検出し、植え付けられるべき位置に連続して苗がない場合に信号を発生するものである。この回路を第8-2図に示す。この図で M_1 、 M_2 の

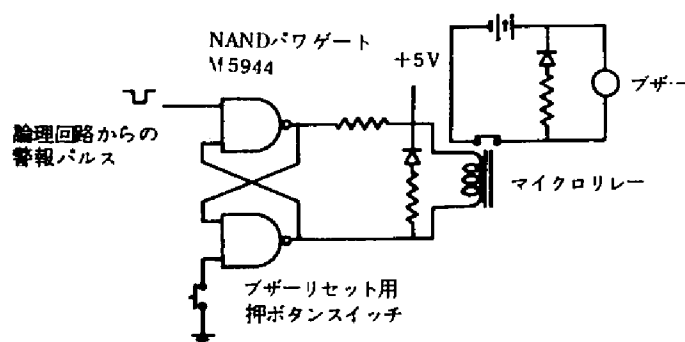


第8-2図 論理回路(II)

信号を使用するのはチャタリング防止のためである。なおSについてはリセット信号であるためフリップフロップ回路を用いる必要はない。この回路は検出装置の田植機への装着が容易であること、および実際に植え付けられた苗を検出するために倒伏した苗を欠株であると判断するなどの利点を持つが、植付け直後の苗を検出するため苗に作用する力を小さくする必要があり、また植え付けられた苗を検出しているために時間的遅れを生ずる。本研究においては既存の田植機（久保田鉄工株式会社製 SPS 型）を使用したため、この論理回路を用いた。

2) 警報装置

警報はブザーによるものとし、リセットは手動スイッチによった。回路は第 8-3 図の通りである。フリップフロップ回路を用いることによって、リセットするまで警報信号を維持する構成である。NAND パワゲートを使用することによって⁸⁻⁸⁾ 特に増幅回路は使用していない。



第 8-3 図 警報回路

3. 苗の検出法

1) 検出法

田植機において苗の存在を検出する方法として、たとえば植付けづめの先端部において根部の存在を電気的に検出する方法もあろうが、苗の地上部を検出する手段としては次のような方法が考えられる。

- (i) タングステン電球などで構成された投光器と受光器間の光束の苗による遮断。
- (ii) 単一波長であるレーザ光線投光器と受光器間の光束の苗による遮断。
- (iii) 超音波送受波器間の超音波の苗による遮断。
- (iv) 検出端子と苗の接触による電気抵抗変化の検出。
- (v) 非接触による電気容量変化の検出。
- (vi) 噴流の苗による遮断⁸⁻⁶⁾

ここでレーザ光線は(i)単一波長の光であるため、フィルタの利用などによってバックグラウンドを除去しやすい。(ii)小さい光束が得られるため苗によって完全に光束を遮断することができる。(iii)光束の広がりを見通せるため複数の植え付けられた条を見通して検出することができる、などの利点をもつ。しかし小型のレーザ光線発光器もあるが耐震性、耐久性および価格の面で難点がある。

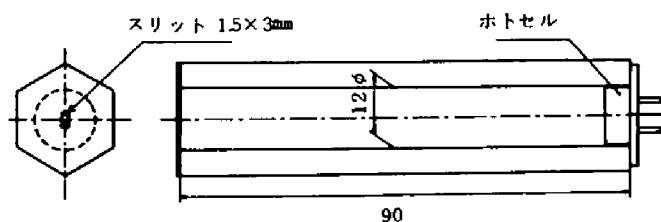
電気容量検出法は非接触である利点をもつが、条のみだれや傾斜して植え付けられることの可能性、田植機のピッチングによる植付け深さの変動による苗検出端子の相対高さのみだれおよび電子回路の複雑さなどの欠点が考えられる。

噴流の遮断は苗の検出に良好な結果をもたらしている⁸⁻⁶⁾が、圧縮空気の供給および論理回路を電子回路で構成する場合は電気信号に変換する点で難点がある。以上の理由から光学的検出方式、超音波検出方式および電気抵抗検出方式について基礎実験を行なった。

2) 光学的検出方式

透過式投光器・受光器間に苗を通過させ、苗本数と通過速度による受光強度の変化をホトセルの出力として測定し、苗検出の可能性について検討した。また太陽光によるバックグラウンドについても調査を行なった。

(a) 投光器および受光器 投光器は竹中電子工業製 BL 21-3M型を使用した。光源は6V 8Wのタングステン電球であるが、寿命等を考慮して4.5Vで使用した。投光レンズ14mmφ、光ぼう幅14mmである。受光器は第8-4図に示すように受光素子、外筒およびスリット(1.5×3mm²)からなる。受光素子は有効径7.5mmφのシリコン光ダイオード(シャープSPD 102)を使用した。分光感度特性は波長800~900nmにおいて最大で、応答特性も10~100μsec程度であり、また光量に対する出力も充分であった。

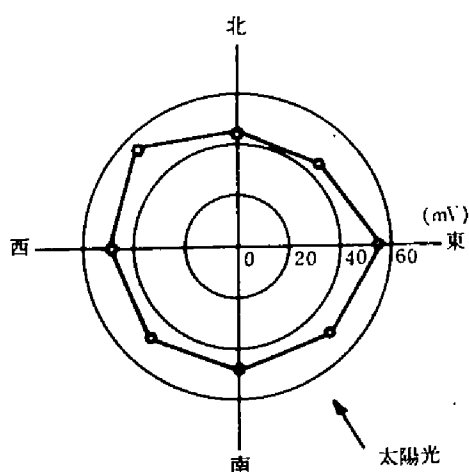


第8-4図 受 光 器

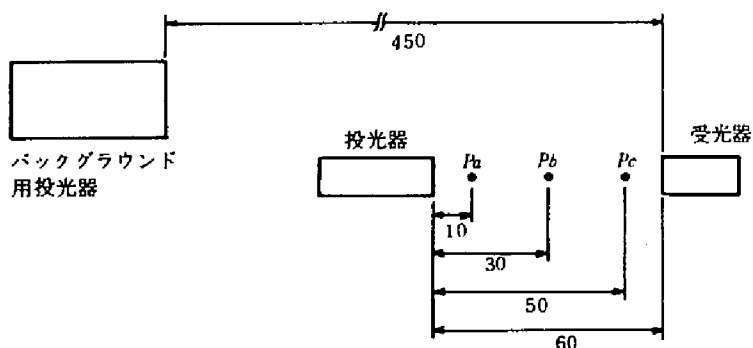
(b) 太陽光線の影響 バックグラウンドとしての太陽光線が検出に及ぼす影響を明らかにするため、太陽光線による受光器の出力を調査した。1972年6月14日午前10時、快晴のもとで京都大学農学部屋上において受光器を水平に設置し、各方位に向けた際の出力を電圧計(岩

崎通信器製 VOAC 77) で測定した。その結果を第 8-5 図に示す。太陽高度が高いためか方位による差は小さく、大略 50 mV であった。

(c) 苗による遮光 下記の実験条件のもとで受光器の出力電圧を測定した。電圧の計測には入力抵抗 200 K Ω のサーボ型記録電圧計を使用した。なお投光器、受光器、苗の位置およびバックグラウンド用投光器 (300 W スライド・プロジェクタ) の相対位置は第 8-6 図の通りである。なおバックグラウンド用投光器のみ点灯したときの受光器出力は 25 mV であった。



第 8-5 図 バックグラウンド



第 8-6 図 実験装置相対位置

実験に用いた苗は (i) 35 日苗葉部, (ii) 35 日苗葉鞘部, (iii) 10 日苗葉部, (iv) 10 日苗葉鞘部の 4 水準であり、苗の位置は第 8-6 図の (i) P_a , (ii) P_b , (iii) P_c の 3 水準、バックグラウンドはバックグラウンド用投光器を使用した時と使用しない時の 2 水準である。測定の結果を第 8-2 表に示すが、苗による受光強度の減衰は苗の検出に利用できる値であると考えられる。バックグラウンドの影響もほとんど無視できるが、たとえばバックグラウンド検出用の受光器を用いて、スイッチング回路の比較器の基準電圧を補正するとその検出はより確実であると考えられる。

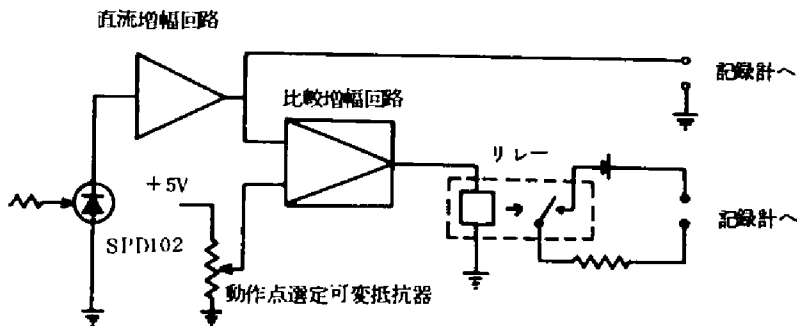
(d) 苗の遮光によるスイッチング動作。前述のように光学的苗検出の可能性が明らかになったので、スイッチング動作について検討した。

(i) 回路の構成。第 8-7 図に回路を示す。ここにおいて苗の有無を受光器の出力電圧で判断するため、受光器の出力を O.P. amp. IC 709 で構成した非反転増幅回路で増幅して、比較増幅

第8-2表 受光器の出力

B. G. 用投光器の使用	基準値* mV	苗	苗の位置と出力 mV			基準値との差 mV
			P_a	P_b	P_c	
無	280	35 日苗葉部	120	180	105	100 ~ 175
		35 日苗葉鞘部	45	30	5	235 ~ 275
		10 日苗葉部	120	80	60	160 ~ 220
有	285	35 日苗葉部	150	200	110	85 ~ 175
		35 日苗葉鞘部	65	55	10	220 ~ 275
		10 日苗葉部	135	185	95	100 ~ 190
		10 日苗葉鞘部	230	225	245	40 ~ 60

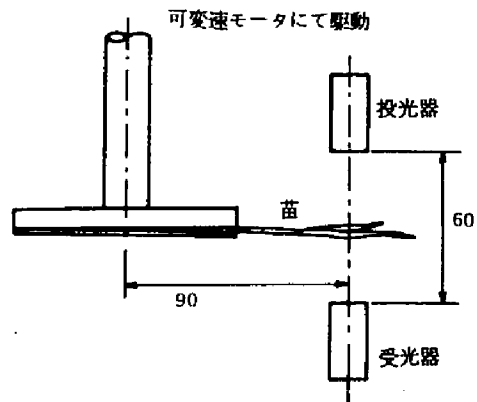
* 基準値とは投・受光器間に苗がそう入されていない場合の値



第8-7図 光学式苗検出器

器 (O.P. amp. IC M 5133) へ入力した。比較増幅器の信号で電磁リレーを動作させたが、雑音を避けるためのコンデンサーとリレーの特性とのため、苗の検出からリレーの動作開始まで約 0.15 sec の遅れを生じた。受光器出力を増幅させた信号とリレーの ON・OFF 信号を記録した。

(ii) 実験条件と結果。右図に示す苗の透過速度可変装置を用い、苗の本数と通過速度をかえてスイッチング動作を調査した。苗は土付き稚苗の標準的な育苗法によって育苗した 10 日苗である。10 日苗は苗として若すぎるが、厳しい条件を与えた方が実験として好ましいと判断したことによる。

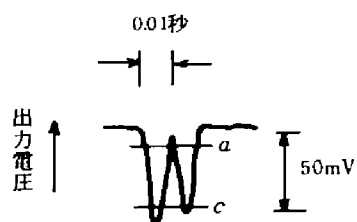


第8-8図 苗移動装置と検出部

実験条件は第8-3表の通りである。動作回

第8-3表 実験条件
— 苗本数と通過速度 —

苗本数	苗 通 過 速 度 (cm/sec)		
1	33.4	46.2	48.2
2	35.0	50.3	55.1
3	30.0	49.2	72.3
4	50.3	56.4	96.4
5	51.4	82.6	105.1



第8-9図 ホトセルの出力信号

数は10回とした。その結果苗1本で速度48 cm/secの場合に2回、苗3本で72.3 cm/secの場合に3回検出ミスが認められた。

受光出力の記録結果として第8-9図のごとき波形が得られたが、aのレベルで電圧の比較を行なえば確実であるが、バックグラウンドを考慮すればc点でスイッチングさせることが好ましい。しかしc点でスイッチングする場合、電子回路および電磁リレーの動特性が良くないため、苗速度の早い場合と本数の少ない場合に誤動作を生じたものと思われる。本回路では記録の便宜上電磁リレーを使用したが高速度スイッチによる高速スイッチングを行なえばこの誤動作は少なくなるものと考えられる。

以上の結果から光学的検出法は実用性があると思われる。ただしこの光学的検出法は泥の付着など光束を遮断する事柄が発生すれば、その機能を停止する欠点を持つ。

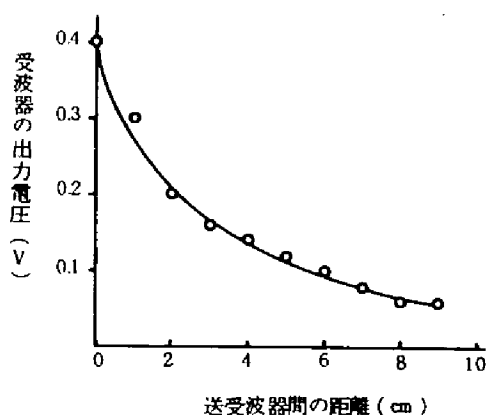
3) 超音波検出方式

(a) 実験方法 超音波の拡散による減衰、送受波器間に苗などが通過した際の受波強度の減少および田植機からの超音波の発生を明らかにするため下記の実験を行なった。送波器として東京電気化学工業株式会社製40 KHz用SE 05 BTを使用し、発振器で駆動した。受波器は送波器と対になったSE 05 BRを使用し、その出力をシンクロスコープを用いて求めた。送受波器とも単体で使用し、音響効果を高めるための装置は使用していない。なお送受波器とも直径13 mmで送波器の指向角は20°である。

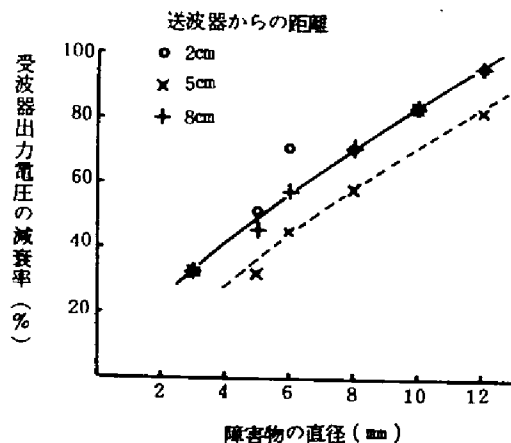
測定は(i)超音波の拡散による減衰を明らかにするため、送受波器間の距離を密着から10 cmまで変えて受波強度の測定。(ii)送受波器間による3~12 mmの円筒をそう入して、受波強度減衰の測定。(iii)送受波器間に成苗と稚苗をそう入した時の受波強度減衰の測定。(iv)土付き稚苗用田植機(久保田鉄工製SPS2条型)と成苗根洗い苗用田植機(マメトラ農機製TA-2型)のエンジン近傍および植付け部近傍で田植機から発生された超音波の測定の4項目である。

(b) 実験結果と考察 (i)超音波の拡散。送受波器間の距離と受波強度との関係を第8-10

に示す。すなわち送受波器の間隔を小さくできる場合は良いが、ある程度以上の距離を必要とする場合は効果が小さい。



第8-10図 超音波の拡散による減衰



第8-11図 超音波の障害物による減衰

(ii) 送受波器間に障害物を入れた時の受波強度の減衰。送受波器の間隔を 10 cm とし、送波器から 2, 5, 8 cm の位置に丸棒を置いた時の受波強度の減衰は第 8-11 図の通りである。

(iii) 送受波器間に苗をそう入した時の受波強度の減衰。送受波器間に成苗と稚苗を葉鞘部の長径を送波器に向けてそう入した時 (A) と短径を送波器に向けてそう入した時 (B) についてその減衰を求めた結果を第 8-4 表に示す。成苗の長径が受波器に面する場合は超音波利用の可能性はあるが、葉鞘部の方向を規定することは困難であり、稚苗に対しては超音波の減衰が 4 ~ 10 % と小さく、超音波利用の可能性はほとんどない。

第8-4表 苗による超音波の減衰

単位 %

苗の種類	葉鞘部の大きさ (mm)		送波器からの距離 (cm)					
			2		5		8	
	長	短	A*	B	A	B	A	B
成苗	8	2	40	4	36	9	40	4
	7	2	36	4	31	4	36	4
	6	1.5	31	4	27	4	31	4
	5	1	27	4	18	4	27	4
稚苗	3	1	9	4	9	4	9	4
	2	1	4	4	4	4	4	4

* A; 長径を受光器に面する方向に設置

B; 短径を受光器に面する方向に設置

(IV)バックグラウンド。田植機で発生される超音波のうち検出用受波器で検知されるものをバックグラウンドとした。測定の結果稚苗用田植機ではエンジン部でも植付け部でもほとんど認められなかったが、成苗用田植機ではエンジン部で0.04 V、植付け部で1 Vの値が観測された。シンクロスコープで測定したものであるが波形は乱れていた。

以上の結果から総合的に考えれば、成苗の場合送受波器間の距離を小さくでき、またより高い周波数の空気用送受波器が使用できるようになれば超音波利用の可能性はあるが、稚苗のように小さいものを検出する方法としてはその可能性は小さい。

4) 接触型電気抵抗検出方式

初期生育段階のてん菜の電気抵抗は大地との間で $2 \sim 10 \text{ M}\Omega^{8-9)}$ $10 \text{ M}\Omega$ 以下 $^{8-10)}$ あるいは $15 \sim 20 \text{ M}\Omega^{8-3)}$ とされ、この抵抗は自動間引機におけるてん菜の検出に利用されている。田植機の欠株検出にこの方式が使用可能かどうかについて検討した。間引機の場合は根が広がり、またてん菜の土による固定が確実であるため、測定に際し葉部に強く端子を接触することができる。上記のデータは種子からその位置で成長したものを測定して得られたものであろう。しかし田植機の場合機械上で植付け前の苗を検出する場合を除いては、植え付けられた苗の安定性が良好でない場合があり、苗に接触する力を大きくすることはできない。移植された苗を検出する目的で次の実験を行なった。

(a) 植物体と大地間の電気抵抗の測定 生育中の植物と大地間の電気抵抗をデジタルテスター（岩崎通信機製 VOAC 77）で測定した。テスター棒の片側を大地にそう入し、片方を植物体に接触させた。その結果を第8-5表に示す。なおここで土壤の電気抵抗を同じ測定法で求めた結果1 cm間で畑地では $0.05 \text{ M}\Omega$ 、水田では $0.03 \sim 0.04 \text{ M}\Omega$ であった。この表の値から植物自身の電気抵抗も重要ではあるが、接触部における抵抗を無視できないと考える。

(b) 土付き稚苗の電気抵抗 下記の通りに条件をかえて土付き稚苗の電気抵抗を測定した。測定器は前項(a)と同じである。供試苗はヤマビコの20日苗であり、その草丈と葉鞘部の長短径はそれぞれ $13.8 \pm 0.8 \text{ cm}$ 、 $1.08 \pm 0.12 \text{ mm}$ および $0.77 \pm 0.09 \text{ mm}$ であった。苗は育苗箱から取り出したもの（苗A）および取り出してシャーレに入れ根部に充分にかん水したもの（苗B）を用いた。試料苗数は各測定とも10個である。

測定1 根部をクリップ端子ではさみ、根部から1 cmおきに葉部にかけてテスター棒を接触させて電気抵抗を測定。

測定2 根部、葉部ともにクリップ端子を使用し葉部の根部から10 cmの位置で電気抵抗を測定。

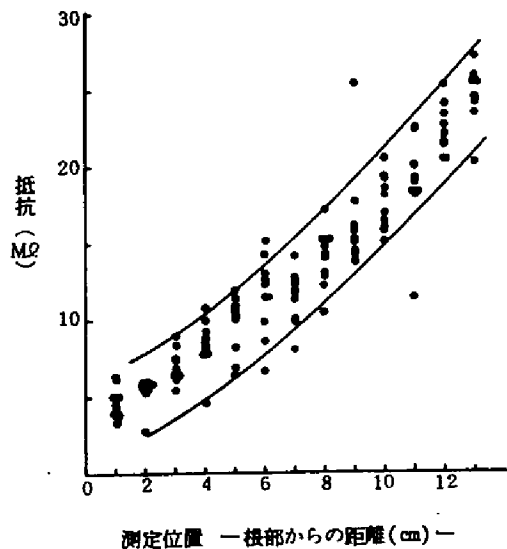
測定3 プラスチック箱に水田土壌を代かきした水田と同様の状態にし、苗を1本移植しその

第8-5表 植物体の電気抵抗

材 料	抵 抗 (MΩ)
水稻 乾田直播(草丈10cm)	70 ~ 80
移植直後(30日苗)	10
苗(折衷苗代)	25 ~ 30
苗(水苗代30日苗)	7 ~ 8
オーチャード(出穂期)	60 ~ 100(葉) 100以上(茎)
チモシー(出穂初期)	12 ~ 15(葉)
コモンベッチ	15 ~ 18(葉) 50 ~ 60(花)
飼料用てんさい(草丈15cm)	8
なたね	19 ~ 30(葉) 60 ~ 70(茎)
いちご	100以上(葉) 15(果実)
トマト	3 ~ 4(葉)
ばれいしょ	6 ~ 7(葉)
たまねぎ苗	40 ~ 100
おおばこ	15
よもぎ	6

位置から10cm離れたところにテスター棒をそう入し、苗の地上10cmの位置をテスター棒で接触して電気抵抗を測定。

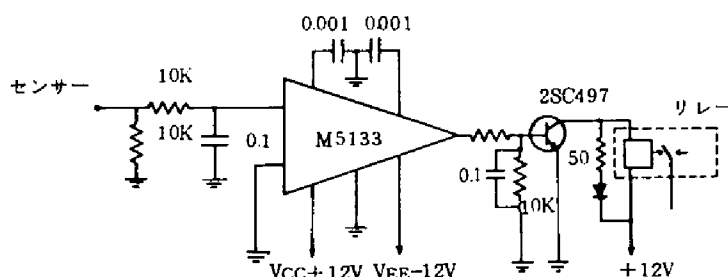
測定結果は次の通りである。苗Aを用いた測定1の結果を第8-12図に示す。根部からの位置と抵抗値との間にはほぼ直線に近い関係が認められる。苗Bについても同様の傾向を示したが、縦軸との切片すなわち測定部位の0cmに相当する位置へ外そうした抵抗が苗Aの場合に比べて小さい。葉節が地上6cmの位置に認められるため、測定部位1~6cmにおける単位長さ当りの抵抗は1.6 MΩ/cmである。葉鞘部の断面の形状がだ円でしかも断面積が位置にかかわらず等しいと仮定すると、抵抗率は $7.83 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ である。測定2の結果は苗ABに対しそれぞれ11.7 MΩおよび10.1 MΩで、また測定3の結果は22.6 MΩであった。以上の値から苗と接触端子との接触が軽い場



第8-12図 土付苗の電気抵抗

合を考慮して、検出回路の検出限界を $100\text{ M}\Omega$ とすることにした。

(c) 検出回路　てん菜の自動間引機においては、電界効果トランジスタを使用している例⁸⁻¹⁰⁾もあるが、本実験では第 8-13 図に示す回路を用いた。これは演算増幅 IC を用いた比



第 8-13 図 接触型検出回路

較回路であるが、比較基準電圧を与えず接地している。このため IC の初段のトランジスタのコレクタからベースに内部から作用している電圧によって演算増幅器から高抵抗の物体(苗)を通してアースに微小電流が流れる。これを増幅してスイッチングを行なうものである。演算増幅器からの出力を電圧調整して直接論理回路への入力とするのが好ましいが記録の関係上増幅してリレーを駆動させた。リレーは立石電機製 NY 型で動作時間復帰時間共にそれぞれ公称 20 msec である。この回路の検出限界を明らかにするため抵抗体を $19.2\text{ M}\Omega$ のものから約 $20\text{ M}\Omega$ ごとに $197\text{ M}\Omega$ のものまで 10 個準備し、わにロクリップでそれぞれ 100 回接触した。その結果抵抗体の抵抗値が $118.5\text{ M}\Omega$ 以下の場合には 100 % スwitching 動作を行ない、 $132.5\text{ M}\Omega$ 以上ではスイッチング動作を一度も行なわなかった。これは当初設定した検出限界 $100\text{ M}\Omega$ をほぼ満足していることを示している。

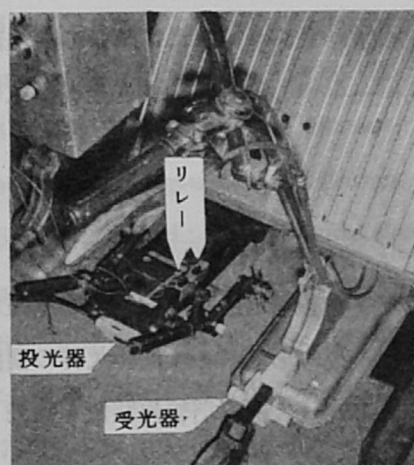
つぎに 1 cm 幅でくし状に切り目を入れたアルミフォイルを検出端子とし、移植された苗に軽く掃くように接触させてこの回路の動作状態を調査した。またアルミフォイルと苗との接触抵抗を減らすためにアルミフォイルを水でぬらした場合についても調査した。1 本植えた苗の場合、300 回接触して回路が動作しなかったのは 13 回 (4.3 %)、フォイルをぬらした場合動作しなかったのは 300 回中 6 回 (2 %) であった。4 本植えた苗に対してはそれぞれ 100 回接触させて、回路が動作しなかったのは 1 回および 0 回であった。これはリレー回路を用いた事と IC からの出力にコンデンサーを入れたことによって瞬時的な短い接触に应答しなかったことも原因の一つと考えられる。稚苗の場合、3 ~ 6 本植え付けるのが普通であり、またリレーを使用せずに演算増幅器からの出力を半導体論理回路に直接接続すれば充分に使用できるものとする。

4. 模擬実験による連続欠株検出警報装置の動作確認

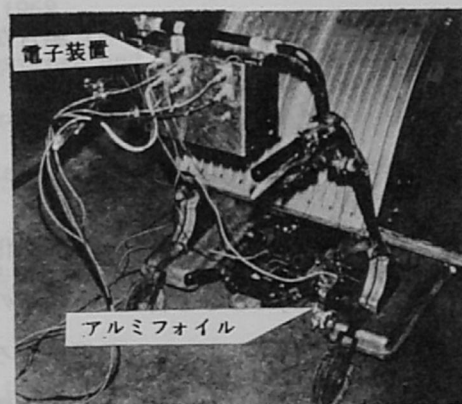
連続欠株検出警報装置の可能性を明らかにするため、木材に稚苗を固定して移植された苗とみなし、検出回路、論理回路および警報回路を稚苗用田植機に装置して室内において模擬実験を行なった。

田植機は土付き稚苗用田植機である久保田鉄工製 SPS 2条植えを用いた。コンクリート上を走行する場合は車輪の外径を基準として走行速度を求めることができ、この速度から株間を求めた結果 16.3 cm と 20.0 cm の2段階であった。エンジンの回転速度 6000 rpm の場合走行速度はコンクリート上で 0.61m/sec である。

検出法は光学的検出法(第8-7図)と接触型電気抵抗法(第8-13図)を用いた。検出器の取付け状況をそれぞれ第8-14図と第8-15図に示す。電気回路は検出器の取付け方法との関連で植え付けられた苗を検出する回路(第8-2図)を用いた。電源は乾電池を使用した。光学的検出回路の動作点の基準電圧と論理回路に必要な 5V は定電圧回路を通して供給した。



第8-14図 田植機に取り付けられた光学的検出装置



第8-15図 田植機に取り付けられた接触型電気抵抗式検出装置



第8-16図 木材に固定された苗

第8-16図に示すように苗を 20.0 cm 間隔で 1 株当り 3 ~ 6 本の割合でセロハンテープを用いて木材に固定した。所所に連続欠株を含めて欠株を作った。根の位置に針金を取り付けるこ

とによって各苗の電氣的接続を行なった。なおこの針金は田植機に取り付けた連続欠株検出装置のアース端子と接続した。この装置を動作させたが、エンジンの電気系統に起因するとみなされる誤動作がひん発した。このため論理回路への入力端子とアース端子の間に5 K Ω の抵抗を入れ、またシャーシ外部の信号線をシールド線に取り替えたが、これらの処置によって誤動作を防ぐことができた。実験では(i) 苗を検出することによって動作するリレーの信号、(ii) 植付け機構部の回転によって動作するリレーの信号、(iii) 警報器のリレーの信号および(iv) センサーが苗を検出する位置に来たときに手動スイッチによって発生された信号をデータレコーダに記録した。

走行距離6.6 m, 走行速度0.53 m/secで実験を行なった。その結果、接触型電気抵抗検出方式の場合は苗以外のものに検出端子であるアルミフォイルが接触して誤動作を生じた事例があったが、それ以外は苗の検出にも論理回路にも異常がなく、連続欠株の場合に警報を発生した。光学的検出回路を使用した場合はまれに苗の検出をミスした場合があったが、それ以外は正常であった。

これらの結果はあくまで室内における装置の動作確認の結果であり、ほ場において検出部に泥が付着した場合、多量の降雨があった場合などに誤動作を生ずる可能性があり、実用化のためにはこれを解決する必要がある。

5. 本章のまとめ

田植機の高効率化のためには多条化と高速化の方法があり、各種の農業機械の発展過程から類推して乗用化の方向があると判断する。このような場合収量に影響のある連続欠株の検出を運転者の視覚のみにたよることには無理であろう。このため連続欠株検出警報装置を開発しようとして実験的に研究を行なった。研究の概要は次の通りである。

- (1) 装置は軽便さ、重量および動作の安定性などの観点から電子装置とし、苗の検出回路、論理回路とカウント回路および警報回路に分けて各回路について検討を行なった。
- (2) 論理回路は次の二つを取り上げた。(a) 植付けづめの植付け動作の前後における苗の存在を知り、これから論理的に欠株であることを判断する回路。(b) 植え付けられるべき位置において苗の有無の存在を検出する回路。この2種類の回路にそれぞれ2進4進回路を用うることによって連続欠株であることを判断する機能をもたした。
- (3) 警報装置として視覚以外に訴えるものとしてブザーを用いた。
- (4) 検出法として透過型光学的方式、超音波方式および接触型電気抵抗方式について基礎的な実験を行ない、超音波方式は現状では欠点が多く利用し難いと判断した。透過型光学的方式と

して8ワットの投光器，ホトダイオードおよび簡単な電子回路からなる装置を試作した。この結果稚苗についても検出でき，また太陽光線によるバックグラウンドがあっても動作することが明らかとなった。接触型電気抵抗方式として100 MΩ以下の抵抗に接触すると信号を発生する回路を試作して，検出装置として利用性の高い事を明らかにした。また苗の接触方法としては接触の際に苗に作用する力を小さくするためアルミフォイルを使用した。

(5) 透過型光学的方式と接触型電気抵抗方式について検出装置，論理回路および警報装置を稚苗用田植機に装置し，室内で模擬実験を行ない良好な結果を得た。しかしほ場においては検出部に泥が付着することによって誤動作を行なう可能性があるなどの問題点を残している。

引用文献

- 8-1) 川村 登，並河 清，他；田植機における連続欠株検出警報装置について，農業機械学会関西支部報，No.34. p.51. 1973
- 8-2) 苗播稲作研究会；水稻の機械化苗播栽培法. p.22. 1966
- 8-3) ZABELITZ, C., et al; Meß-und Übertragungsprobleme bei der Automatisierung in der Landtechnik. Grundl. Landtechn. Bd.18. S.21. 1968
- 8-4) HESSE, H., et al; Untersuchung von optischen und electrischen Fühlen für automatische Vereinzelungs-und Nachführungssysteme. Grundl. Landtechn. Bd.18. S.107. 1968
- 8-5) HESSE, H.; Untersuchung eines Vereinzelungssystems mit kapazitiven Fühlern. Grundl. Landtechn. Bd.19. S.158. 1969
- 8-6) 堀尾尚志，川村 登；田植機欠株警報装置への純流体素子の適用について，農業機械学会第30回総会講演要旨. p.83. 1971
- 8-7) 小山一平，他；IC回路ハンドブック. p.116. テラリス社. 1970
- 8-8) 三菱電機株式会社；半導体集積回路ディジタル回路応用編. No.17-003A. p.19. 1969
- 8-9) GARRET, G. E.; Device designed for synchronous thinning of plants. Agr. Engng. vol.47. p.652. 1966
- 8-10) COX, S. W. R., et al; Electro-chemical thinning of sugar beet. J. Agr. Eng. Res. vol.14. p.332. 1969

第9章 総 括

高性能田植機の改良開発を目的とし、機構学的な見地から植付け機構の総合を中心に考究し、また田植機高性能化に関連した事項の研究を行なった。その内容の大略は次の通りである。

- (1) ティラー装着型田植機整地板の上下変動がティラー本体の上下運動および耕盤と田面のおうとつによって生じ、それらの間の関係が線形であると仮定して、パワースペクトル法を用いてそれらの相互関係を求めた。その結果次の事項が明らかとなった。耕盤と田面のおうとつはそれぞれ畑地のうねに沿った地表面と舗装道路の表面のおうとつに似ている。ティラー本体の上下運動は主として水田車輪のラグに起因し、代かき方法によって異なる。田植機整地板の上下変動はティラーへの田植機の取付け方法によって異なり、今後装着方法を考究する必要がある。また田植機整地板の上下変動に及ぼす水田のおうとつの要因は数量的には判然としなかったが、耕うん法の異なるほ場でその上下変動のスペクトルが異なる以上何らかの要因があると考えられ、耕盤を乱さない耕うん法を選らぶ必要がある。
- (2) 成苗の葉鞘部を漸変断面を持ち密度一様で空腔のある等方性の弾性体と仮定して、引張り試験法、曲げ試験法および振動試験法によってヤング率を求めた。実験の結果、その値は大略 $28 \sim 35 \text{ kg/mm}^2$ であり、また引張り試験法によって得た値は他の方法で得た値に比して小さい。
- (3) 田植機を利用した場合、田植機による苗処理が移植後の初期生育に及ぼす影響を明らかにするため実験を行ない次の事柄を知り得た。根洗い苗をピンセットではさみ植え付ける形式の田植機では植付け精度に支障のない限り苗をはさむ力は小さく、はさむ面はおう面をなした粘弾性的効果のある材質である事が好ましい。しかし植付け角度はあまり重要な項目ではない。次に土付き稚苗については株を形成する際根部を傷め難い形式のものが移植後の初期生育上良い結果を示している。稚苗についても冠水を見れば植付け角度はあまり重要な項目ではない。
- (4) 4節機構を用い往復運動を行なう田植機植付けづめ先端の径路、速度および加速度を電子計算機を用い、実用上正確な値とみなせる精度で近似的に求める手法を明らかにした。次にこの手法によってマット状苗を植え付ける田植機とひも状苗を切断して植え付ける田植機についてづめ先端の径路、速度および加速度を求め、植付け機能から考えて合理的なづめの運動であることを明らかにした。またこの手法によって計算すれば、機構条件を変えた場合の径路、速度および加速度が簡単に求まり、各節の長さの変化がづめ先端の運動に及ぼす影響を数値的

に明らかにした。

(5) 4節機構を用いた植付け機構を合理的に設計しようとして、前項で求めた解析的手法を総合へ応用する方法を明らかにした。すなわち各節の長さに乱数を与えて径路の解析を行なう事を繰り返し、与えた条件を満たす節長の組合せを探し出す手法であり、モンテカルロ法による機構総合と仮称することにした。なおこの手法によれば通過非許容領域など従来の機構総合法では与え難い条件も与えることができる。またこの手法によって得られた機構をより正確な機構にするために機構の各節の長さをそれぞれ変数として多変数関数の極値を求める手法の導入を試み成果を得た。良好な植付けを行なうために必要な条件を求めようとして実験を行なった。その結果土壌中におけるつめの前後方向の運動を小さくする事が必要であることが判明した。5個の例について上述の手法で数値計算を行ない、かなりの精度で機構総合のできることを明らかにした。

(6) ひも状苗を切断して植え付ける回転型植付けつめの形状について研究を行なった。つめの作用を苗の切断、苗の土壌表面までの搬送、土壌中に進入し植付け所定位置までの移行および植付け所定位置からの脱出に分け、各作用について必要な条件を明らかにした。次にこれらの条件を満たすつめの形状を田村座標などを用いて求めた結果、一つの近似解としてインボリュート曲線を得た。また土付き苗根部と金属板との摩擦力および付着力を実験的に求め、つめ車の高速回転を行なう場合の限界速度を求めた。このほか在来はこの種のつめの形状を調査し、上述の回転型植付けつめとして必要な条件を満たしていることを明らかにした。

(7) 収量に影響のある連続欠株を検出し警報する装置を開発しようとして実験を行ない次の結果を得た。電子装置を用い苗の検出結果から欠株であることを判定する論理回路、欠株の計数および警報回路を試作した。検出方法として光電方式、超音波方式および接触型電気抵抗方式を取り上げ実験的に検討した結果、超音波方式は難点が多いが他の二方式は利用できると判断した。試作した連続欠株検出警報装置を稚苗用田植機に取り付け室内において模擬実験を行ない、二三の問題点はあるがその実用化の可能性を明らかにした。

付 録 モンテカルロ法による機構総合のプログラム

```

C      MONTE CARLO METHOD FOR FOUR BAR LINKAGE NO SDOF
1      DIMENSION RAB(10),RR(6,10)
2      DT=2.0
3      IJK=181
4      READ(5,101)NSL
5      WRITE(6,611)NSL
6      611 FORMAT(1H0,5X,'NO OF SYNTHESIS',110)
7      READ(5,101)N
8      101 FORMAT(110)
9      READ(5,102)F1X,A2,B2,A3,B3,A4,B4,A5,B5
10     102 FORMAT(9F8.0)
11     READ(5,103)RA,PA,RB,PB,RC,PC,RD,PD,RE,PE,RF,PF
12     READ(5,103)EA1,EA2,EA3,EA4,EA5,EA6,EA7,EA8,EA9,EA10,EA11,EA12
13     103 FORMAT(12F6.0)
14     WRITE(6,104)N
15     104 FORMAT(1H0,5X,'KURIKAESI NO KAZU',110)
16     109 FORMAT(2F8.0)
17     READ(5,109)DMAA
18     DM=SQRT(2.0)*DMAA
19     WRITE(6,106)RA,PA,RB,PB,RC,PC,RD,PD,RE,PE,RF,PF
20     106 FORMAT(1H0,5X,'TSUKA TEN NO ICHI'//5X,6(F8.3,1H(,F8.3,1H)))
21     15 WRITE(6,107)EA1,EA2,EA3,EA4,EA5,EA6,EA7,EA8,EA9,EA10,EA11,EA12
22     107 FORMAT(1H0,5X,'TSUKA TEN NO GOSA NO HAN-J'//2X,6(F10.5,1H(,F10.5,1
    1H)))
23     DM1N=100.0
24     WRITE(6,114)DM1N
25     114 FORMAT(1H0,5X,'TSUKA TEN *A'F10.5,'YORI SOTO GA*A')
26     WRITE(6,105)F1X,A2,B2,A3,B3,A4,B4,A5,B5
27     105 FORMAT(1H0,4X,3HR1=,F8.3//5X,3HR2=,F8.3,1H+,F8.3,2H*R//5X,3HR3=,F8
    1,3,1H+,F8.3,2H*R//5X,3HR4=,F8.3,1H+,F8.3,2H*R//5X,3HR5=,F8.3,1H+,F
    28,3,2H*R)
28     WRITE(6,108)
29     108 FORMAT(1H0,'JOKEN O MITASU LINK NO NAGASA'//4X,4HNN1,4HNN2,4HNN3
    1,4HNN4,4HNN5,4HNN6,4HNN7,4HNN8,4X,2HR1,13X,2HR2,13X,2HR3,13X
    2,2HR4,13X,2HR5)
30     NN1=NN2=NN3=NN4=NN5=NN6=NN7=NN8=0
31     1 DO 10 J=1,N+1
32     IF(1.EQ.N+1)STOP
33     NN1=NN1+1
34     IF(NN1/100*100.EQ.NN1)GO TO 31
35     GO TO 3031
36     31 WRITE(6,131)NN1
37     131 FORMAT(1H0,2X,14)
38     3031 R1=F1X
39     R2=A2+B2*RANDOM(0)
40     R3=A3+B3*RANDOM(0)
41     R4=A4+B4*RANDOM(0)
42     R5=A5+B5*RANDOM(0)
43     IF(AMIN1(R1,R2,R3,R4),NE,R2)GO TO 10
44     IF(R3.GE.R1+R4-R2.OR,R3.LE.ABS(R1-R4)+R2)GO TO 10
45     KK=1
46     DO 20 JJ=1,IJK
47     FJJ=FLOAT(JJ)*DT
48     XTHETA=3.141593/180.0*FJJ
49     XL=SQRT(R1*R1+R2*R2-2.0*R1*R2*COS(XTHETA))
50     XX=(XL*XL+R3*R3-R4*R4)/(2.0*XL*R3)
51     IF(ABS(XX).GT.1.0)GO TO 20
52     PSA1=-ARCOS(XX)
53     AETA=ARSH1N(R2/XL*S1N(XTHETA))

```

```

54      DELTA=XTHETA+BETA-PSA1
55      XR=SQRT(R2*R2+R5*R5-2,0*R2*R5*COS(DELTA))
56      THRB=3,141593-DELTA-ARSIN(SIN(DELTA)/XR*R2)
57      ALPHA=XTHETA+THRB
58  2002 CONTINUE
59      IF(XR,LE,DMIN)GO TO 10
60      IF(ALPHA,LT,RA-EA1*2,0)GO TO 10
61      GO TO(1001,1003,1005,1007,1009,1011),KK
62  1001 IF(ABS(ALPHA -RA)-EA1)1002,1002,20
63  1002 IF(ABS(XR-PA)-EA2)51,51,20
64      51 KK=2
65      NN2=NN2+1
66      IF(NN2/10*10,EQ,NN2)GO TO 32
67      GO TO 20
68      32 WRITE(6,132)NN2
69      132 FORMAT(1H ,6X,I4)
70      GO TO 20
71  1003 IF(ALPHA ,GT,RB+EA3+0,01)GO TO 10
72      IF(ABS(ALPHA -RB)-EA3)1004,1004,20
73  1004 IF(ABS(XR-PB)-EA4)52,52,20
74      52 KK=3
75      NN3=NN3+1
76      IF(NN3/5*5,EQ,NN3)GO TO 41
77      GO TO 20
78      41 WRITE(6,141)NN3
79      141 FORMAT(1H ,10X,I4)
80      GO TO 20
81  1005 IF(ALPHA ,GT,RC+EA5+0,01)GO TO 10
82      IF(ABS(ALPHA -RC)-EA5)1006,1006,20
83  1006 IF(ABS(XR-PC)-EA6)53,53,20
84      53 KK=4
85      NN4=NN4+1
86      IF(XR*ABS(ALPHA -ALPHB )/(DT/1440,0),LT,1000,0)GO TO 10
87      NN5=NN5+1
88      IF(IJK,GT,1000)GO TO 42
89      GO TO 20
90      42 WRITE(6,142)NN5
91      142 FORMAT(1H ,18X,I4)
92      GO TO 20
93  1007 IF(ALPHA ,GT,RD+EA7+0,01)GO TO 10
94      IF(ABS(ALPHA -RD)-EA7)1008,1008,20
95  1008 IF(ABS(XR-PD)-EA8)54,54,20
96      54 NN6=NN6+1
97      KK=5
98      36 WRITE(6,136)NN1,NN2,NN3,NN4,NN5,NN6,R1,R2,R3,R4,R5
99      136 FORMAT(1H ,2X,6I4,8X,5(3X,F12,8))
100     GO TO 20
101  1009 IF(ALPHA ,GT,RE+EA9+0,01)GO TO 10
102     IF(ABS(ALPHA -RE)-EA9)1010,1010,20
103  1010 IF(ABS(XR-PE)-EA10)55,55,20
104     55 KK=6
105     NN7=NN7+1
106     37 WRITE(6,137)NN7
107     137 FORMAT(1H+,26X,I4)
108     GO TO 20
109  1011 IF(ALPHA ,LT,RF-EA11-0,01)GO TO 10
110     IF(ABS(ALPHA -RF)-EA11)1012,1012,20
111  1012 IF(ABS(XR-PF)-EA12)56,56,20
112     56 NN8=NN8+1
113     RR(2,NN8)=R2
114     RR(3,NN8)=R3
115     RR(4,NN8)=R4
116     RR(5,NN8)=R5
117     WRITE(6,200)NN1,NN2,NN3,NN4,NN5,NN6,NN7,NN8,R1,R2,R3,R4,R5
118  200 FORMAT(1H0,2X,8I4,5(3X,F12,8))
119     IF(NN8,EQ,6)GO TO 11
120     GO TO 10

```

```

121      20 ALPHB=ALPHA
122      10 CONTINUE
123      11 EA1=0.7*EA1
124          EA2=0.7*EA2
125          EA3=0.7*EA3
126          EA4=0.7*EA4
127          EA5=0.7*EA5
128          EA6=0.7*EA6
129          EA7=0.5*EA7 *1.4
130          EA8=0.5*EA8 *1.4
131          EA9=0.5*EA9 *1.4
132          EA10=0.5*EA10 *1.4
133          EA11=0.5*EA11 *1.4
134          EA12=0.5*EA12 *1.4
135          IF(EA12.LE,0.05 )STOP
136          DO 201 KKK=2,5
137              RR(KKK,8)=AMAX1(RR(KKK,1),RR(KKK,2),RR(KKK,3),RR(KKK,4),RR(KKK,5)
138                  1,RR(KKK,6))
139                  RR(KKK,9)=AMIN1(RR(KKK,1),RR(KKK,2),RR(KKK,3),RR(KKK,4),RR(KKK,5)
140                      1,RR(KKK,6))
141              RAB(KKK)=RR(KKK,8)-RR(KKK,9)
142      201 CONTINUE
143          A2=RR(2,9)-RAB(2)/4.0
144          A3=RR(3,9)-RAB(3)/4.0
145          A4=RR(4,9)-RAB(4)/4.0
146          A5=RR(5,9)-RAB(5)/4.0
147          B2=RAB(2)*1.5
148          B3=RAB(3)*1.5
149          B4=RAB(4)*1.5
150          B5=RAB(5)*1.5
151          DT=0.8*DT
152          IJK=FLOAT(IJK)/0.8+1
153          GO TO 15
154      END

```